



Pro gradu -tutkielma  
Geologia

## HELSINGIN PUISTOJEN MAAPERÄN METALLIPITOISUUKSIEN ARVIOINTI

Heidi Ritari

2018

HELSINGIN YLIOPISTO  
MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA  
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN LAITOS  
GEOLOGIA

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)  
00014 Helsingin yliopisto



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Geotieteiden ja maantieteen osasto	
Tekijä/Författare – Author Heidi Ritari			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Helsingin puistojen maaperän metallipitoisuuksien arviointi			
Oppiaine /Läroämne – Subject Geologia			
Työn laji/Arbetets art – Level Pro Gradu		Aika/Datum – Month and year 4.12.2018	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 129
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Helsingin puistoissa on aikaisemmin tutkittu maaperän pilaantuneisuutta, mutta tutkimukset ovat lähinnä keskittyneet Helsingin keskustan alueelle. Tässä tutkimuksessa maaperänäytteitä kerättiin 50:stä eri puistosta koko Helsingin alueelta, lukuun ottamatta Östersundomia, jonka lisäksi näytteitä otettiin myös neljältä Helsingin edustan saarelta ja neljältä uimarannalta. Helsingin puistoissa, saarilla ja uimarannoilla As-, Cd-, Co-, Cr-, Cu-, Ni-, Pb-, V- ja Zn-pitoisuudet olivat pääasiassa alhaiset, mutta ohjearvoja ylittäviä pitoisuuksia löytyi Eugen Schaumanin puistosta, Kuntähdenkentältä, Paloheinänhuipulta (täyttömäki), Haaganpuistosta ja Munkinpuistosta. Alueellisesti alhaisimmat metallipitoisuudet olivat Itä-Helsingissä, Helsingin edustan saarilla ja uimarannoilla.</p> <p>Työn tarkoituksena oli myös arvioida pXRF-laitteen soveltuvuutta metallipitoisuuksien mittaamiseen maaperän orgaanisesta pintakerroksesta ja vertailla kahden eri raekoon metallipitoisuuksia toisiinsa: &lt; 2 mm ja &lt; 0,06 mm. Menetelmien vertailussa pXRF-laite antoi korkeammat arseeni-, kromi-, kupari-, lyijy-, vanadiini- ja sinkkipitoisuudet, kuin ICP-MS-menetelmä. Parhaiten pXRF-laite soveltui kupari, sinkki ja lyijypitoisuuksien mittaamiseen, joten kentällä käytettävää pXRF-laitetta voidaan siis hyvin käyttää näiden aineiden kohdalla, mutta todelliset pitoisuudet tulisi tarkistaa laboratorioissa käytettävillä laitteilla, kuten esim. ICP-MS:llä. Arseeni- ja kromipitoisuuksien mittaaminen pXRF-laitteella osoittautui vaikeaksi, sillä näytteiden pitoisuudet olivat etenkin &lt; 2 mm:n raekoossa alle laitteen määrittäysrajan. Kromissa raekoko vaikutti pXRF-laitteen mittaamiseen, sillä hienoaineksessa <math>R^2</math> oli 0,91, kun puolestaan &lt; 2 mm:n raekoossa se oli 0,46. Lisäksi nikkeli-, kadmium- ja kobolttipitoisuudet olivat kaikki alle pXRF-laitteen määrittäysrajan, joten tuloksia näille aineille ei saatu pXRF-laitteella.</p> <p>Suomessa maaperän pilaantuneisuutta tutkitaan &lt; 2 mm:n raekoosta, mutta maa-aineksen raekoon on huomattu vaikuttavan näytteen metallipitoisuuksiin. Tässä tutkimuksessa arseeni-, kromi-, kupari-, lyijy-, vanadiini- ja sinkkipitoisuudet olivat korkeampia hienoaineksessa, kuin &lt; 2 mm:n raekoossa. Tämän lisäksi lyijy, sinkki ja kadmium korreloivat parhaiten &lt; 2 mm:n ja &lt; 0,06 mm:n raekoossa.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Helsingin puistot, maaperä, PIMA, pilaantunut maaperä, pXRF-laite, ICP-MS, raekoko			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			



Faculty Faculty of Science		Laitos/Institution– Department Department of Geosciences and Geography	
Tekijä/Författare – Author Heidi Ritari			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Metal concentrations in Helsinki parks			
Oppiaine / Läroämne – Subject Geology			
Työn laji/Arbetets art – Level Master's thesis		Aika/Datum – Month and year 4.12.2018	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 129
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>In total, 58 soil samples from the Helsinki area were analysed for the contents of As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V and Zn. Most of the samples (50) were collected from parks, four samples from beach sediments, and four samples from islands in the Helsinki archipelago. Typically, the contents of these metals were low, but in the parks of Eugen Schauman, Kuntähdenkenttä, Paloheinänhuippu, Haaga and Munkki some samples showed concentrations exceeding the guide values. The lowest metal concentrations were found in the samples from the parks of the East-Helsinki area as well as in those from the islands and beaches.</p> <p>Metal concentrations in soil samples were determined using both a field portable XRF device (pXRF) and a ICP-MS instrument using two different grain size fractions (&lt; 2 mm and &lt; 0,06 mm). One of the purposes of the study was to evaluate the applicability of pXRF analyses for prospecting contaminated soil samples. The pXRF analyses showed systematically higher As, Cr, Cu, Pb, V and Zn concentrations compared to those measured by ICP-MS. The best agreement between the two methods was for the abundances of Pb, Zn and Cu, suggesting that pXRF may be used to evaluate the contamination of these metals in soil samples. The contents of As and Cr had lower correlations between the ICP-MS and pXRF results, especially in the grain size fraction of &lt; 2 mm or in samples with low abundances of metals.</p> <p>The contamination of soil samples is in Finland determined using the &lt; 2 mm grain size fraction. However, many studies have demonstrated that the grain size affects the metal concentration data. In this study, it was observed that the contents of As, Cr, Co, Ni, Cd, Pb, V, Zn and Cu were higher in the &lt; 0,06 mm grain size fraction than those in the &lt; 2 mm fraction. Best correlations between the analyses from the two grain size fractions were observed for the abundances of Pb, Zn and Cd.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Helsinki parks, soil, metal concentrations, contaminated soils, pXRF, ICP-MS, grain size			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. GEOLOGINEN TAUSTA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Geologinen historia .....	6
2.2 Helsingin puistojen maankäyttö historia .....	9
<b>3. AINEISTO .....</b>	<b>13</b>
<b>4. TUTKIMUSMENETELMÄT .....</b>	<b>16</b>
4.1 Esikäsittely .....	16
4.2 pXRF-laitte .....	17
4.3 ICP-MS .....	19
<b>5. TULOKSET .....</b>	<b>21</b>
5.1 Rinnakkais-, nolla- ja vertailunäytteet .....	21
5.2 ICP-MS-menetelmän ja pXRF-laitteen vertailu .....	28
5.3 Hienoaineksen ja < 2 mm raekoon metallipitoisuuksien vertailu .....	35
5.4 Puisto, saari- ja uimarantanäytteiden metallipitoisuudet .....	45
5.4.1 Arseeni .....	46
5.4.2 Kadmium .....	49
5.4.3 Koboltti .....	52
5.4.4 Kromi .....	55
5.4.5 Kupari .....	58
5.4.6 Nikkeli .....	61
5.4.7 Lyijy .....	64
5.4.8 Vanadiini .....	67
5.4.9 Sinkki .....	70
5.4.10 Uimarannat .....	73
<b>6. TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>76</b>
6.1 ICP-MS-menetelmän ja pXRF-laitteen metallipitoisuuksien vertailu .....	76
6.2 Hienoaineksen ja < 2 mm raekoon metallipitoisuuksien vertailu .....	79
6.3 Helsingin puistojen, saarien ja uimarantojen metallipitoisuudet .....	82
6.3.1 Arseeni .....	82
6.3.2 Kadmium .....	84
6.3.3 Koboltti .....	87

6.3.4 Kromi.....	88
6.3.5 Kupari.....	90
6.3.6 Nikkeli.....	92
6.3.7 Lyijy.....	94
6.3.8 Vanadiini .....	96
6.3.9 Sinkki .....	98
6.3.10 Muita havaintoja .....	100
6.3.11 Uimarannat .....	101
<b>6.4 Alemman ja ylemmän ohjearvon ylittävät kohteet .....</b>	<b>103</b>
6.4.1 Kuntähdenkenttä.....	103
6.4.2 Eugen Schaumanin puisto .....	105
6.4.3 Paloheinänhuippu .....	107
6.4.4 Munkinpuisto .....	108
6.4.5 Haagan puisto .....	109
<b>7. JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>111</b>
<b>8. KIITOKSET .....</b>	<b>112</b>
<b>9. VIITELUETTELO .....</b>	<b>112</b>
<b>10. LIITTEET .....</b>	<b>116</b>

## 1. JOHDANTO

Suomen lainsäädännössä maaperän pilaantumista ja puhdistustarvetta säädetään ympäristönsuojelulaissa (VN 527/2014), valtioneuvoston PIMA-asetuksessa (VN 214/2007), ympäristönsuojeluasetuksessa (VN 713/2014) ja jätelaissa (VN 646/2011). Ympäristönsuojelulakiin kuuluvat säädökset maaperän ja pohjaveden pilaamiskiellosta, pilaantuneen alueen selvitys- ja puhdistamisvelvollisuudesta ja puhdistamisen viranomaismenettelyistä (Vepsäläinen et al. 2016). Ympäristönsuojeluasetus määrittelee puhdistamisen ilmoitus-asioista, kun puolestaan jätelaki koskee kaivettujen maa-ainesten käsittelyä ja loppusijoitusta (Vepsäläinen et al. 2016). PIMA-asetusta käytetään arvioimaan maaperän pilaantuneisuutta ja puhdistustarvetta (Vepsäläinen et al. 2016).

PIMA-asetuksessa (VN 214/2007) on määritelty tietyille haitallisille aineille kynnys- ja ohjearvot. Kynnysarvolla tarkoitetaan pitoisuusarvoa, jonka ylittyessä maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava, mutta joskus maaperän taustapitoisuus voi ylittää kynnysarvon, jolloin taustapitoisuus korvaa kynnysarvon (Vepsäläinen et al. 2016). Taustapitoisuudella tarkoitetaan haitallisten aineiden luontaisesti poikkeavia pitoisuuksia maaperässä tai ihmisen toiminnasta aiheutuvia pitoisuuksia, jotka esiintyvät laaja-alaisesti ja ovat peräisin useasta eri päästölähteestä (Vepsäläinen et al. 2016). Kynnysarvon jälkeen tulee ohjearvo, joka on jaettu ylempään ja alempaan arvoon (VN 214/2007). Kun alempi ohjearvo ylitetään, voidaan maaperää pitää pilaantuneena, jos alue ei ole teollisuus-, varasto- tai liikennealue, kun puolestaan ylempään ohjearvon ylittyessä maaperää voidaan pitää pilaantuneena myös teollisuus-, varasto- ja liikennealueella (Vepsäläinen et al. 2016).

Maaperän pilaantuminen voi johtua joko yksittäisestä tapahtumasta tai pitkäaikaisesta päästöstä, jonka lisäksi ilman tai veden mukana voi tulla haitta-aineita alueen ulkopuolelta (Ympäristöministeriö 2015). Muualta tuodut täyttömaat voivat myös aiheuttaa pilaantumisriskin, jos täyttömaa-aines on jo valmiiksi pilaantunut (Ympäristöministeriö 2015). Yleensä tutkittavan alueen ympäristön pilaantuminen on tapahtunut vuosikymmeniä sitten ja pilaantuminen johtuu toiminnasta, jossa käytetään, valmistetaan, käsitellään, kuljetetaan tai varastoidaan haitallisia aineita tai jätteitä (Ympäristöministeriö 2015). Suomessa yleisempiä haitta-aineita ovat raskasmetallit,

öljy-yhdisteet ja klooratut hiilivety-yhdisteet (Penttinen 2001). Ihminen voi altistua maaperässä oleville haitta-aineille käsien kautta tai syömällä kasveja, sieniä, marjoja tai itse maata, sekä hengittämällä pienhiukkasia, joita pölyyää maaperästä (Jantunen et al. 2005). Ihon läpi maaperän haitta-aineet eivät voi imeytyä elimistöön, ellei ihossa ole avoimia haavoja (Jantunen et al. 2005).

Suomessa maaperän pilaantuneisuutta tutkittaessa näytteet tulisi analysoida standardisoitujen menetelmien avulla, kuten kotimaisten SFS-standardien tai eurooppalaisten EN-standardien avulla (Ympäristöministeriö 2014). Näytteet tulee analysoida akreditoituissa laboratorioissa alle 2 mm:n raakoosta (Ympäristöministeriö 2014). PIMA-asetuksen kynnys- ja ohjeavot on myös mitoitettu < 2 mm:n raekoolle (VN 214/2007). Kentällä käytettävien laitteiden suosio on kuitenkin kasvanut ympäristötutkimuksissa, koska esimerkiksi pXRF-laite on pienempi, halvempi ja vähemmän näytteen esikäsittelyä vaativa vaihtoehto kuin laboratoriossa tehtävät analyysit. Tässä tutkimuksessa arvioidaan pXRF-laitteen soveltuvuutta metallipitoisuuksien mittaamiseen ja vertaillaan saatuja tuloksia ICP-MS-analyysin tuloksiin. Lisäksi vertaillaan kahta eri raekokoa keskenään, eli virallista < 2 mm:n raekokoa ja < 0,06 mm:n raekokoa.

Helsingin vanhimmat puistot on rakennettu 1800-luvulla ja aluksi puistot eivät olleet avoinna koko kansalle (Nummi 2010). Nykyisin Helsingin kaupungin puistot ovat kaikille avoimia virkistymisalueita, joissa voi esimerkiksi istua alas piknikille tai ottaa aurinkoa puiston nurmikentällä. Kaupungin asukkaat pääsevät yleensä vaikuttamaan uuden puiston suunnitteluun. Puistojen iät vaihtelevat Helsingin alueella ja vanhimmat puistot sijaitsevat yleensä keskustan alueella tai entisillä kartanoalueilla (Nummi 2010). Puistojen ja viheralueiden rakentamiseen on käytetty täyttömaata ja etenkin vanhoissa täyttömaissa saattaa olla korkeita metallipitoisuuksia (Immonen 2001).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää metallipitoisuuksia Helsingin puistojen maaperässä, minkä lisäksi muutama näyte on otettu Helsingin edustan saarilta ja uimarannoilta. Helsingin puistojen maaperän laatua on aikaisemmin tarkasteltu Salla (1999, 2009) ja Hatakka et al. (2010a) tutkimuksissa. Salla (1999, 2009) maaperätutkimuksiin kuului yhteensä 19 puistoa, joista 16 puistoa sijaitsi Helsingin Eteläisessä suurpiirissä ja 3 puistoa Keskisessä suurpiirissä. Arseenin kynnysarvo ylittyi

8 näytteessä, lyijyn kynnysarvo 6 näytteessä ja sinkin kynnysarvo yhdessä näytteessä (Salla 2009). Hatakka et al. (2010a) tutkimuksessa kerättiin näytteitä 15:sta eri täyttömaa-alueesta Helsingissä, joista 8 oli puistoja. Arseenin kynnysarvo ylitettiin 8 näytteessä, lyijyn kynnysarvo 2 näytteessä, kadmiumin, kromin, vanadiinin ja sinkin kynnysarvo yhdessä näytteessä (Hatakka et al. 2010a). Tattarisuon näytteessä ylitetään lyijyn alempi ohjearvo (Hatakka et al. 2010a).

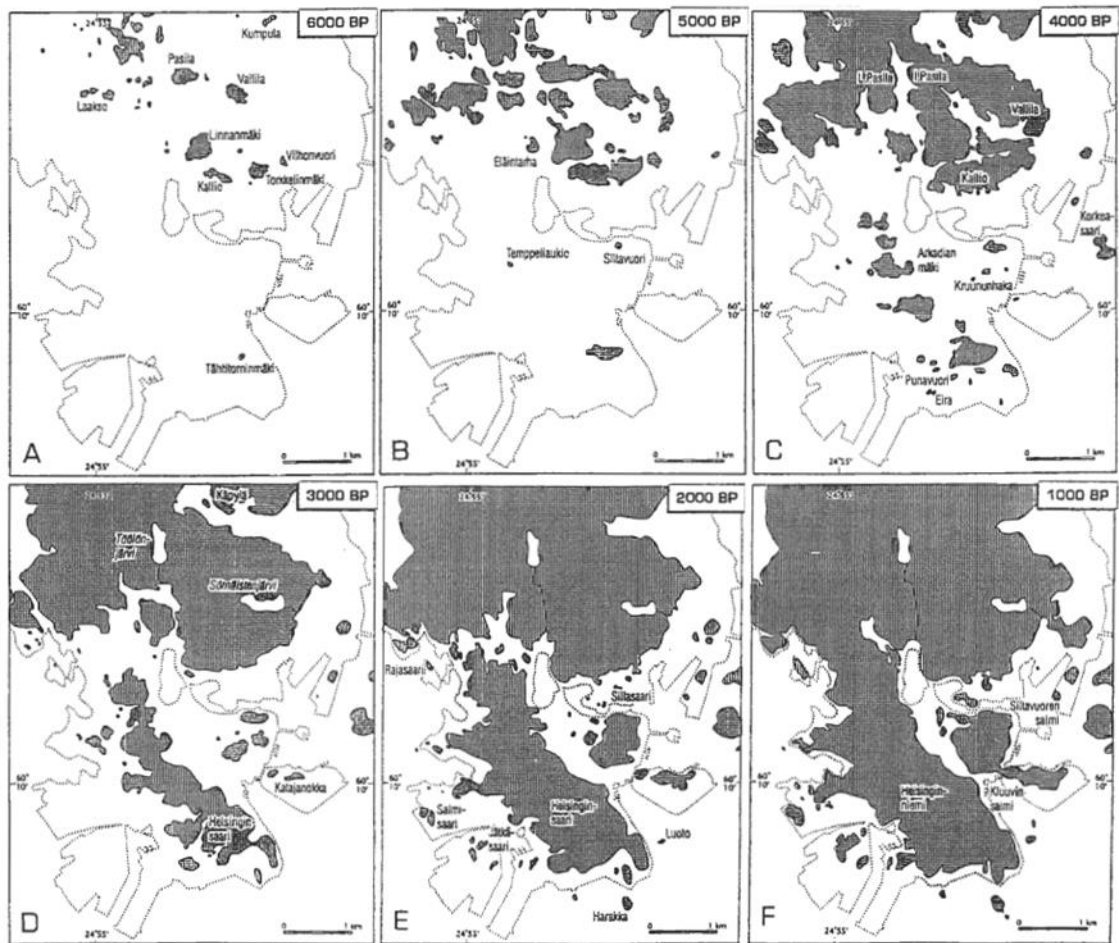
## **2. GEOLOGINEN TAUSTA**

### **2.1 Geologinen historia**

Helsingin maaperä on muokkautunut pääasiassa viimeisen jääkauden ja sen jälkeisen ajan aikana (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998). Helsingin maaperä on ollut viimeisen jääkauden lopussa Itämeren peitossa, josta se on vähitellen noussut merenpinnan yläpuolelle (Salla 2004). Kuvassa 1 näkyy Helsingin regression vaiheita. Suurin osa Helsingin muinaisrannoista on Litorinameren kivikoita, jotka sijaitsevat nykyään noin 17–20 metriä merenpinnan yläpuolella (Salla 2004). Maa kohoaa Helsingissä noin 2,1 millimetriä vuodessa (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998).

Helsingin maaperä on tyypillinen rannikko-Suomen maaperä, missä kalliomaiden ja savien osuus on vallitseva (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998). Moreeni peittää ohuena kerroksena rinteitä ja painanteita, kun puolestaan savi peittää loivapiirteisiä laaksoja (Penttilä 1956). Helsingin maa-alasta moreenia on 5 %, jäätikköjoki-muodostumia 2,1 %, rantakerrostumia 3 % ja hienorakeisia kerrostumia 8,4 % (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998). Melkein puolet Helsingin maa-alasta on kartoittamatonta tai täytemaan alla (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998). Helsingissä on kolme hyvin säilynyttä luode-kaakko suuntaista harjua ja ne sijaitsevat kaikki kaupungin itäosissa: Laajasalossa, Mellunkylässä ja Vuosaaressa (Salla 2004). Laajasalon harju on myös toiminut syöttöharjuna Santahaminan deltatasanteelle (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998). Santahaminan deltan lisäksi Helsingistä löytyy toinen delta Vuosaaresta (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998).



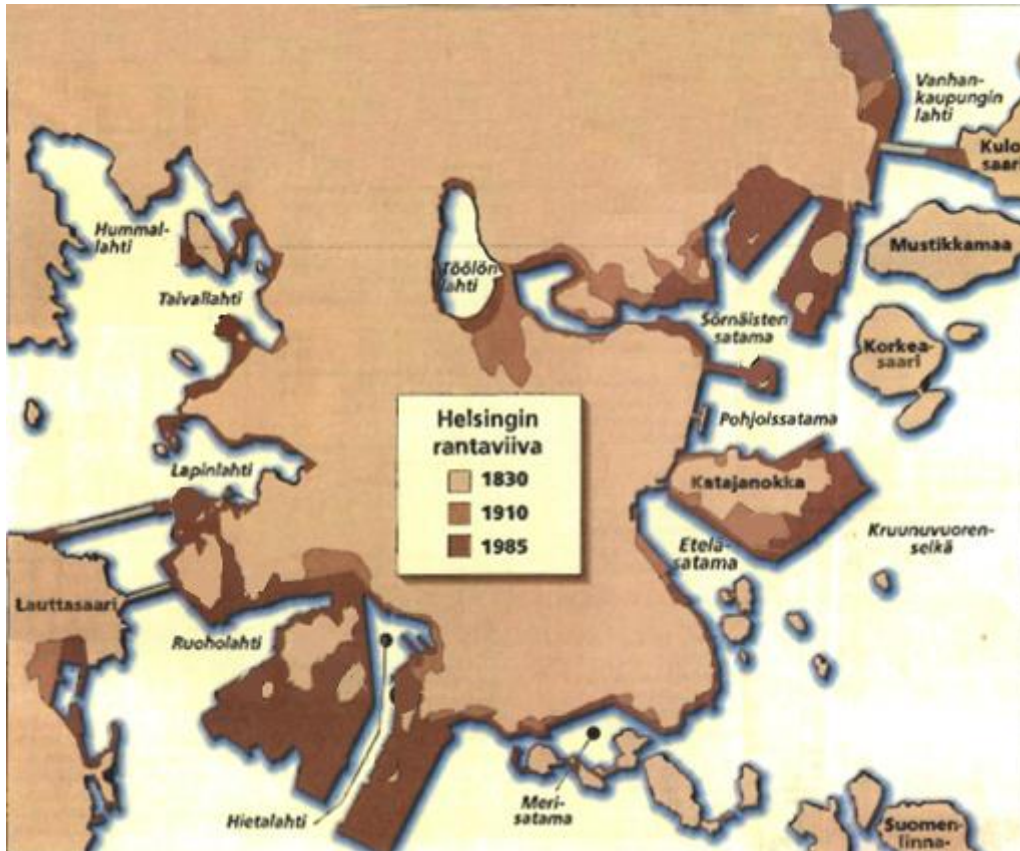


**Kuva 1.** Maan kohoaminen Helsingissä viimeisen jääkauden jälkeen. (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998)

Moreenia on Helsingissä suhteellisen vähän, eikä se usein muodosta näkyviä kumpuja (Penttilä 1956). Moreenin paksuus on keskimäärin 2 metriä, mutta kallioiden suojasivuilta voi löytyä jopa 4–5 metrin paksuisia moreenikerrostumia (Penttilä 1956). Suojasivujen moreeniaines on yleensä tiivistä ja kovaa, kun puolestaan rinteille kerrostunut moreeni vastaa koostumukseltaan huonosti lajittunutta jäätikköjokikerrostumaa (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998). Helsingissä esiintyvä moreeni on yleensä pohjamoreenia (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998). Drumliineja Helsingissä on kaksi ja ne sijaitsevat Lauttasaassa ja Vuosaassa (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998). Drumliinien nuorempien kerrosten alta löytyy vanhempia, aikaisempien jäätiköitymisvaiheiden aikana kerrostuneita moreenikerroksia (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998).

Savet, liejut ja turpeet ovat Helsingissä syntyneet painanteisiin, mutta usein ne on peitetty kantavammalla maakerroksella. Savien alimmat kerrokset ovat syntyneet Baltian jääjärven pohjalle. Ylemmät kerrokset ovat kerrostuneet Yoldiameren, Ancylusjärven ja Litorinameren pohjaan. Baltian jääjärven ja Yoldiameren alkuvaiheessa kerrostuneet savet ovat kerrallisia lustosavia. Nykyään merenlahtiin kerrostuu löyhää ja orgaanista sedimenttiä. Pääosa Helsingin suoalueista on peittynyt rakennusten, teiden ja täytemaiden alle. Alle 3 % Helsingin maa-alasta on turvetta, liejua ja eloperäisiä maalajeja. (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998)

Maantäyttö alkoi Helsingissä noin 1800-luvun alussa, ensimmäisiä kohteita olivat Kluuvinlahti ja Helsingin edustan saaret (Immonen 2001). Täyttömaata on käytetty rantojen täyttämiseen rakennus- ja teollisuusalaksi sekä puistojen ja viheralueiden rakentamiseen (Immonen 2001). Täyttömaa-alueita Helsingissä on noin 90, joiden lisäksi maata on sijoitettu täyttömäkiin (Immonen 2001). Helsingin suurimmat täyttömäet sijaitsevat Paloheinässä, Malminkartanossa, Porslahdessa ja Vuosaaressa (Immonen 2001). Kuvassa 2 näkyy Helsingin keskustan rantojen maantäytön historiaa.



Kuva 2. Helsingin keskustan rannan täyttöhistoria (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998).

## 2.2 Helsingin puistojen maankäytön historiaa

Muutamien näytteenottoon valittujen puistojen vieressä on ollut likaavia tekijöitä, kuten teollisuutta ja kaatopaikkoja, joiden lisäksi joissakin puistossa on tehty aikaisemmin maaperän kunnostustöitä. Seuraavassa esitellään tarkemmin puistoja, joissa mahdollinen maaperän likaantuminen voisi johtua esimerkiksi puiston vieressä sijaitsevista teollisuusrakennuksista tai vanhoista kaatopaikoista. Valituista Helsingin puistoista Eiran puiston, Hiidenkivenpuiston ja Pikku Huopalahden puiston alueella on ennen toiminut kaatopaikka, minkä lisäksi Myllypuron liikuntapuiston vieressä on sijainnut Vartiokylän kaatopaikka. Eiran puistossa on ollut pieni kaatopaikka, joka syntyi vuonna 1912, kun alueella olevaa notkelmaa alettiin täyttää kotitalous- ja rakennusjätteellä (Nummi 2010). Rakennustyömaalta siirrettiin myös ylimääräistä maa-ainesta notkelmaan (Nummi 2010).

Toinen puistoissa sijaitseva entinen kaatopaikka on vuosina 1904–1944 toiminut Malmin kaatopaikka, joka sijaitsee Hiidenkivenpuiston alueella Tapanilassa (Leminen et al. 1993). Kaatopaikkaa pahempi likaava tekijä alueella on kuitenkin ollut nykyinen Hiidenkiven asuinalue, jossa 1930-luvulta lähtien on ollut teollisuutta, kuten veturihiilivarasto, asbestitehdas sekä metalli- ja puuyrityksiä (Uudenmaan ympäristökeskus 2005a). Hiidenkiven asuinalueella on tehty maaperän pilaantuneisuuden selvitystöitä vuosina 1996, 1997, 1998, 2000, 2003, 2004 ja 2005, joiden perusteella maaperästä löytyi korkeita raskasmetalli-, öljyhiili-, asbesti-, PAH-yhdiste- ja PCB-yhdistepitoisuuksia (Uudenmaan ympäristökeskus 2005a). Raskasmetalleista korkeimmat pitoisuudet olivat kuparilla 8500 ppm, lyijyllä 7447 ppm, sinkillä 4180 ppm, kadmiumilla 27 ppm, kromilla 2570 ppm, nikkelillä 3250 ja arseenilla 112 ppm (Uudenmaan ympäristökeskus 2005a). Tämän seurauksena asuinalueita ja osia Hiidenkivenpuistosta alettiin kunnostaa vuonna 2005 (Uudenmaan ympäristökeskus 2005a).

Kolmas entinen kaatopaikka on Pikku Huopalahden kaatopaikka, joka sijaitsee nykyisen Pikku Huopalahden puiston alueella (Ilonen et al. 2011). Kaatopaikalle sijoitettiin paperi- ja talousjätettä sekä rikkoja (Leminen et al. 1993). Puistossa toinen mahdollinen likaava tekijä on ollut romuliikkeet, joiden seurauksena aluetta on aikoinaan kutsuttu köyhien Stockmanniksi (Nummi 2010). Pikku Huopalahden puisto on entistä

merenpohjaa ja se sijaitsee alavalla vesijättömaalla (Nummi 2010). Merenpohjaa on alueella ruopattu ja ruopattuja maamassoja on käytetty puiston täyttämiseen niin, että täyttömaan korkeus puistossa on noin kolme metriä (Nummi 2010). Puiston alueella on tehty maaperä- ja pohjavesitutkimuksia vuosina 1984 ja 1992, joiden tuloksena maaperästä löydettiin korkeita Pb-, As-, Ni- ja öljypitoisuuksia (Leminen et al. 1993). Leminen et al. (1993) raportissa on suositeltu likaisen maa-alueen peittämistä puhtaalla maa-aineksella ja ainakin Meilahden allergiatalon ja sen vieressä sijaitsevien uusien asuinrakennusten kohdalta on vuonna 1997 poistettu paljon pilaantunutta maata (Pyrylä 1998). Ilonen et al. (2011) mukaan maaperää on Pikku Huopalahdessa paikoin puhdistettu ja kapseloitu bentoniitti- ja lentotuhkakerroksen sekä täyttömaan alle.

Myllypuron liikuntapuiston vieressä on entinen Vartiokylän kaatopaikka, johon on aikoinaan tuotu teollisuus- ja yhdyskuntajätettä (Pönkä ja Pukkala 2000). Kaatopaikka oli toiminnassa vuosina 1954–1962, minkä jälkeen alueelle alettiin rakentaa asuntoja (Pönkä ja Pukkala 2000). Vuonna 1998 entiseltä kaatopaikka alueelta otettiin maaperänäytteitä, joista paljastui korkeita syanidi-, PCB-, PAH-yhdiste- ja raskasmetallipitoisuuksia (Pönkä ja Pukkala 2000). Alueen maaperää alettiin kunnostaa ja kunnostustyöt valmistuivat vuonna 2014 (Helsingin kaupunki Rakennusvirasto 2016). Nykyään entisen kaatopaikan päällä on Alakivenpuisto (Helsingin kaupunki Rakennusvirasto 2016).

Helsingin Eteläisessä suurpiirissä teollisuutta on ollut mm. Katajanokalla, Tervasaassa, Töölönlahdella, Ruoholahdessa ja Eiranrannassa. Katajanokalla sijaitseva Tove Janssonin puisto eli vanha Katajanokan puisto on perustettu 1897 (Liski et al. 2016). Katajanokalla on historiansa aikana sijainnut mm. kolme kahvinpaahtimoa ja tavarasatama (Liski et al. 2016). Tavarasatamasta johtuen Katajanokalle rakennettiin junarata kuljettamaan tavaroita sataman ja kaupungin välillä vuosien 1895–1980 ajaksi (Liski et al. 2016). Katajanokan lähellä sijaitseva Tervasaari avattiin kaupunkilaisten käyttöön 1970, mutta viralliseksi virkistysalueeksi se muutettiin vuonna 1988 (Nummi 2010). Saarella on aikoinaan varastoitu tervaa ja siellä toimi myös sementtivalimo (Nummi 2010). Saarta on laajennettu täyttämällä ja vuonna 1939 saari yhdistettiin kaupunkiin sillan avulla (Nummi 2010).

Töölönlahti on syntynyt kallioperän murroskohtaan ja se koostuu pääasiassa savi- ja saviliejukerroksista (Laakkonen et al. 2001). Töölönlahden länsirannalla on ollut teollisuutta, kuten esimerkiksi sokeri-, saippua-, kynttilä-, säilyke- ja suopatehdas (Nummi 2010). Suurena ongelmana Töölönlahdella on ollut jätevesikuormitus, sillä monet jätevedet laskettiin Töölönlahteen ja etenkin sokeri- ja kaasutehdas laskivat jätevesiään lahteen (Laakkonen et al. 2001). Töölönlahti on historiansa aikana ollut hyvinkin pilaantunut ja alueella on joskus nähty leväkukintoja sekä myös hajuhaitat ovat häirinneet alueen käyttäjiä (Laakkonen et al. 2001). Töölönlahden pohjasta otetuissa sedimenttinäytteistä on löytynyt ylemmän ohjearvon ylittäviä elohopea-, sinkki- ja kuparipitoisuuksia sekä alemman ohjearvon ylittäviä lyijy- ja PAH-yhdistepitoisuuksia (Kiinteistövirasto 2016).

Ruoholahti oli ennen ryhmä saaria, jotka yhdistettiin mantereeseen täyttämällä merenpohjaa 1910-luvulla (Nummi 2010). Alueella on toiminut satama-alue ja 1940-luvun alusta lähtien teollisuutta, esimerkiksi Nokian kaapelitehdas (Nummi 2010). Ruoholahtea on kunnostettu vuonna 1997, jolloin pilaantunutta maa-ainesta poistettiin ja korvattiin uudella täyttömaalla (Pyrylä 1998). Maaperässä löytyi muun muassa korkeita arseeni-, elohopea-, kupari-, lyijy- ja sinkkipitoisuuksia (Pyrylä 1998). Ruoholahteen vuonna 1993 rakennetut Kellosaarenpuisto ja Kellosaarenrantapuisto ovat varsin nuoria puistoja (Nummi 2010).

Eiranrannan ja Merisatamanrannan alueella sijaitsevat Pyhän Birgitan puisto, Meripuisto ja Fredrik Stjernvallin puisto, jotka ovat nuoria puistoja. 1900-luvulla Eiranrannassa ja Merisatamanrannassa on ollut pieniä teollisuuslaitoksia, kalasatama, varastoja ja halkosatama, joiden lisäksi 1960-luvulla alueelle perustettiin jätevedenpuhdistuslaitos ja rakennusviraston varikko (Myllys et al. 2007). Eiranrannassa olevan Pyhän Birgitan puiston paikalla on ennen sijainnut pysäköintialue ja varastoja, kun puolestaan Meripuiston paikalla on ennen sijainnut satamaradan ratapiha-alue, joka on lakkautettu vuonna 1980 (Myllys et al. 2007). Meripuiston pohjoisosassa on edelleenkin esillä osia vanhasta satamaradasta (Myllys et al. 2007).

Keskisessä suurpiirissä sijaitsee Verkatehtaanpuisto, Dallapenpuisto, Vallilanlaakso, Agrokseenmäki ja Taivaskallio. Vallilanlaakso on rakennettu 1990-luvulla ja se on viimeksi kunnostettu vuoden 2013 jälkeen, jolloin alueelle rakennettiin kaksi hulevesien

viivytysallasta ja tehtiin Soili-ohjelman maaperän kunnostus (Harju 2012). Entisen huoltoaseman likaamilta alueilta on poistettu maa-ainesta, joka on haissut tai ylittänyt alemman ja ylemmän ohjearvon pitoisuusrajat (Harju 2012). Puhdasta maa-ainesta on tuotu pilaantuneen tilalle mm. alueelta tehdystä maaleikkauksesta (Harju 2012). Entisen huoltoaseman lisäksi Vallilanlaakson läpi kulkee vanha teollisuusradan pohja (Harju 2012).

Verkatehtaanpuisto on entistä teollisuusaluetta ja puistossa on edelleenkin säilynyt teollisuusrakennuksia (Nummi 2010). Alueen tehtaista esimerkiksi Arabian posliinitehdas kaatoi posliinijätteensä Arabianrantaan aina 1970-luvun loppuun asti (Laakkonen et al. 2001). Arabianrannan pohjoispuolen maaperää on tutkittu 1990- ja 2000-lukujen aikana ja maaperästä löytyi korkeita raskasmetalli- ja PAH-yhdistepitoisuuksia (Uudenmaan ympäristökeskus 2005b). Raskasmetalleista kupari-, sinkki- ja lyijypitoisuudet olivat korkeimpia (Uudenmaan ympäristökeskus 2005b). Arabianrannan pilaantunutta maaperää on kunnostettu ja poistettu alueen rakentamisen yhteydessä 2000-luvulla (Kivilaakso et al. 2010).

Agroksenmäki sijaitsee Sörnäisten vankilan vieressä ja se on kallioinen alue, joka kohoo 22 metrin korkeuteen merenpinnasta (Punkamaa ja Palmgren 2007). Agroksenmäellä on ollut ratakuilu, joka on myöhemmin täytetty tuntemattomalla maa-aineksella (Punkamaa ja Palmgren 2007). Puistossa on tutkittu aikaisemmin Kyläsaaren jätteenpolttolaitoksen vaikutusta maaperän PBDE-yhdisteiden pitoisuuksiin (Fraktman 2002). Tutkimuksen perusteella Agroksenmäen PBDE:n kokonaispitoisuus oli  $0,982 \mu\text{g kg}^{-1}$ , joka johtopäätösten mukaan on pieni määrä (Fraktman 2002).

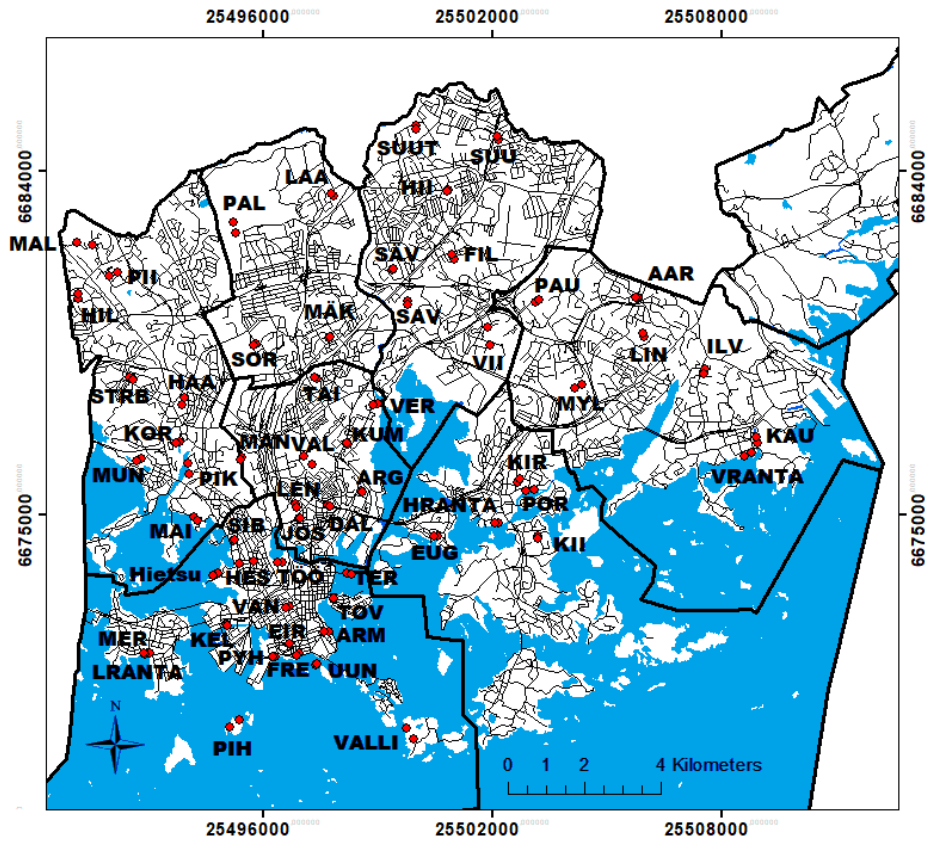
Dallapenpuistossa sijaitseva Harjun nuorisotalo on ennen toiminut ruumishuoneena (Kallio kävelyfestivaali). Vuosien 1923–1954 aikana ruumishuoneelta kuljetettiin vainajia junalla Malmin hautausmaalle (Kallion kävelyfestivaali). Taivaskalliolla on puolestaan sijainnut jatkosodan aikana ilmatorjuntapatteri Taivas, joka osallistui Helsingin puolustamiseen Neuvostoliiton pommikoneita vastaan (Raevuori 2014). Puistossa on edelleenkin yksi tykki ja useita ilmatorjunta-asemia paikoillaan. Taivaskallion korkeus on 55 metriä merenpinnasta ja se on Helsingin korkein kallio (Haavisto-Hyvärinen ja Korhonen 1998).

Helsingin Läntisessä suurpiirissä sijaitseva Strömbergin puisto on aikoinaan kuulunut Talin kartanon maihin ja nykyään sen läpi virtaa Mätäoja. Pitäjänmäessä on 1900-luvulta lähtien ollut teollisuutta ja tunnetuimpia yrityksiä ovat olleet Kalevalan korutehdas, Halvan makeistehdas, Valion mehutehdas ja maalitehdas. Kalevalan korutehdas sijaitsee edelleenkin aivan Strömbergin puiston vieressä. (Nummi 2010)

### **3. AINEISTO**

Tutkimuksen aineisto on kerätty Helsingin puistoista, uimarannoilta ja Helsingin edustan saarilta. Maaperänäytteitä on otettu 50:stä eri puistosta, neljältä uimarannalta ja neljältä saarelta Helsingin alueelta (Taulukko 1, Kuva 3, Liite 1). Jokaisesta puistosta, uimarannalta ja saarelta otettiin kaksi kokoomanäytettä sekä kaikkiaan neljä rinnakkaisnäytettä otettiin samoista kuopista (Liite 1). Puisto- ja saarinäytteet on otettu nurmikon alta, noin 5–20 cm syvyydeltä, eli maaperän orgaanisesta kerroksesta. Näytteet otettiin kaivamalla lapiolla kolme neliön muotoista kuoppaa nurmikolle ja käsin nostaen nurmikon palat pois (Kuva 4). Näyte kerättiin muovilusikalla pussiin kuoppien pohjilta ja nurmenpalojen ala-osista. Näytteenotossa pyrittiin välttämään mahdollinen lapion aiheuttama kontaminaatio ottamalla näytteet keskeltä kuoppaa ja nurmenpaloja, ei reunoilta. Näytteenoton jälkeen nurmenpalat aseteltiin takaisin paikoilleen. Puistoista ja saarilta otetut näytteet olivat pääasiassa multaa, mutta muutama koostui hiekasta (Liite 1). Uimarantanäytteet otettiin puolestaan alle 5 cm:n syvyydestä, eikä näytteenotossa käytetty lapiota (Kuva 4). Rantahiekan päällinen kerros poistettiin käsineellä, minkä jälkeen näyte otettiin muovilusikalla kolmesta eri kohdasta, kokoomanäytteeksi.





**Kuva 3.** Näytteenottopaikat Helsingin suurpiireissä.



**Kuva 4.** Näytteet otettiin kolmesta kuopasta ja yhdistettiin kokoomanäytteeksi. Ylhäällä puisto- ja saarinäytteiden kuopat, sekä alhaalla uimarantanäytteiden kuopat.



**Taulukko 1.** Näytetunnukset, sekä puistojen nimet ja sijainnit. Tarkemmat näytekoordinaatit kts. Liite 1.

Näyte	Puisto	Sijainti
Eteläinen suurpiiri		
ARM1, ARM1-1, ARM2	Armi Ratian puisto	Kaivopuisto
EIR1, EIR2	Eiran puisto	Eira
FRE1, FRE2	Fredrik Stjernvallin puisto ja Meripuisto	Ullanlinna
HES1, HES1-1, HES2	Hesperian esplanadi	Etu-Töölö
KEL1, KEL2	Kelllosaarenpuisto ja rantapuisto	Länsisatama
MER1, MER2	Merikylpylän puisto	Lauttasaari
PYH1, PYH1-1, PYH2	Pyhän Birgitan puisto	Länsisatama
SIB1, SIB2	Sibeliuksen puisto	Taka-Töölö
TOV1, TOV2	Tove Janssonin puisto	Katajanokka
TÖÖ1, TÖÖ2	Töölönlahden puisto	Kluuvi
VAN1, VAN2	Vanha kirkkopuisto	Kamppi
Itäinen suurpiiri		
AAR1, AAR2	Aarrepuisto	Mellunkylä
ILV1, ILV2	Ilveskorvenpuisto	Vuosaari
KAU1, KAU2	Kauniinilmanpuisto	Vuosaari
LIN1, LIN2	Linnanpellonpuisto	Mellunkylä
MYL1, MYL2	Myllypuron liikuntapuisto	Vartiokylä
PAU1, PAU2	Paukkulanpuisto	Mellunkylä
Kaakkoinen suurpiiri		
EUG1, EUG2	Eugen Schaumanin puisto	Kulosaari
KII1, KII2	Kiiltomadonpuisto	Yliskylä
KIR1, KIR2	Kirsikkapuisto	Herttoniemi
POR1, POR2	Porolahdenpuisto	Herttoniemi
Keskinen suurpiiri		
AGR1, AGR2	Agroksenmäki	Hermannin
DAL1, DAL2	Dallapenpuisto	Vallila
JOS1, JOS2	Josefatinkalliot	Harju
KUM1, KUM2, KUM3	Kumtähdenkenttä	Toukola
LEN1, LEN2	Leninipuisto	Alppila
MAN1, MAN2	Mansikkamäki	Länsi-Pasila
TAI1, TAI2	Taivaskallio	Koskela
VAL1, VAL2	Vallilanlaakso	Kumpula
VER1, VER2	Verkatehtaanpuisto	Vanhakaupunki
Koillinen suurpiiri		
FIL1, FIL2	Filpuksenpuisto	Malmi
HII1, HII2	Hiidenkivenpuisto	Tapanila
SAV1, SAV2	Savelan puisto	Pihlajisto
SUU1, SUU2	Suuntimopuisto	Puistola
SUUT1, SUUT2	Suutarilanpuisto	Siltamäki
SÄV1, SÄV2	Säveltäjänpuisto	Pukinmäki
VII1, VII2	Viikinojanpuisto	Viikki
Läntinen suurpiiri		

HAA1, HAA2	Haaganpuisto	Etelä-Haaga
HIL1, HIL2	Hilapelto	Konala
KOR1, KOR2	Korppaanpuisto	Etelä-Haaga
MAL1, MAL2	Malminkartanonhuippu	Kaarela
MAI1, MAI2	Maila Talvion puisto	Meilahti
MUN1, MUN2	Munkinpuisto	Vanha Munkkiniemi
PII1, PII1-1, PII2	Piianpuisto	Malminkartano
PIK1, PIK2	Pikku Huopalahden puisto	Ruskeasuo
STRB1, STRB2	Strömbergin puisto	Pitäjänmäki
Pohjoinen suurpiiri		
LAA1, LAA2	Laamanninpuisto	Torpparinmäki
MÄK1, MÄK2	Mäkitorpanpuisto	Patola
PAL1, PAL2	Paloheinänhuippu	Tuomarinkylä
SOR1, SOR2	Sorsapuisto	Maunula
Saaret		
PIH1, PIH2	Pihlajasaari	
TER1, TER2	Tervasaari	Kruununhaka
UUN1, UUN2	Uunisaari	Ullanlinna
VALLI1, VALLI2	Vallisaari	
Uimarannat		
Hietsu1, Hietsu2	Hietarannan uimaranta	Hietaniemi
HRANTA1, HRANTA2	Tuorinniemen uimaranta	Herttoniemi
LRANTA1, LRANTA2	Lauttasaaren uimaranta	Lauttasaari
VRANTA1, VRANTA2	Aurinkolahden uimaranta	Vuosaari

## 4. TUTKIMUSMENETELMÄT

### 4.1 Esikäsittely

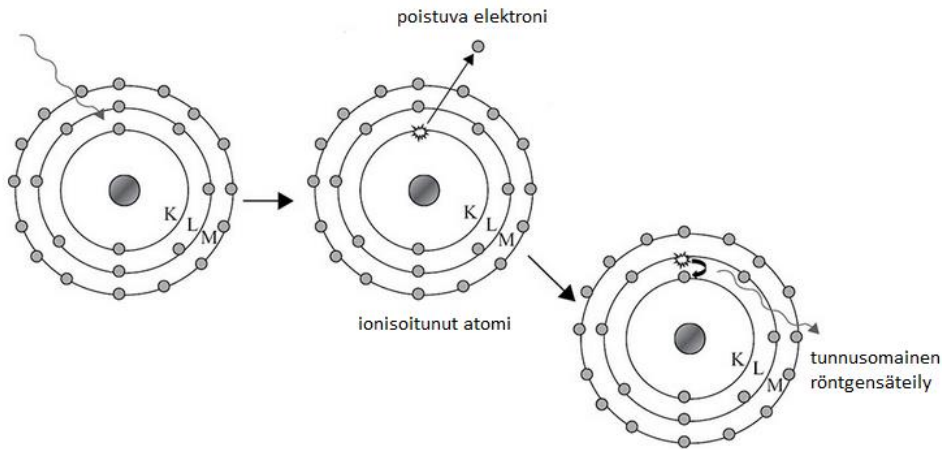
Näytteet pakastettiin, jonka jälkeen ne vakuumikylmäkuivattiin Scanvac CoolSafe -laitteella (Kuva 5). Tämän jälkeen näytteet jaettiin kahteen eri osaan ja seulottiin kahteen eri raekokoon:  $< 2 \text{ mm}$  ja  $< 0,06 \text{ mm}$ . Näytteen jakamisessa pyrittiin huomioimaan, että raskaat metallit ovat kerääntyneet näytepussin pohjalle, joten kumpikin osa pyrittiin homogenisoimaan (Kuva 5). Verkko, kangas, paperit ja hanskat vaihdettiin jokaisen näytteen jälkeen uusiin, jonka lisäksi vanha näytepussi vaihdettiin kahteen uuteen pussiin.



**Kuva 5.** Vakuumikylmäkuivuri ja alkuperäisen näytteen jako kahteen osaan.

#### 4.2 pXRF-laite

Näytteiden analysointiin käytettiin Niton XL3t-laitetta, joka on käsikäyttöinen XRF-laite. XRF:llä tarkoitetaan röntgenfluoresenssispektometriä, jolla voidaan mitata näytteen eri alkuaineiden pitoisuuksia (Margui ja Grieken 2013). XRF-laite perustuu siihen, että laitteen tuottama säteily irrottaa elektronin atomin sisäkuorelta ja atomi ionisoituu (Margui ja Grieken 2013). Uloimmalta kuorelta siirtyy seuraavaksi elektroni sisäkuoren tyhjälle paikalle, minkä seurauksena syntyy tunnusomaista röntgensäteilyä, jota laite mittaa (Margui ja Grieken 2013). Jokaisella alkuaineella on tunnusomainen säteilyenergia tai aallonpituus, jonka perusteella alkuaine voidaan tunnistaa (Margui ja Grieken 2013). Kuvassa 6 näkyy tunnusomaisen röntgensäteilyn syntyminen.



**Kuva 6.** Tunnusomaisen röntgensäteilyn syntyminen (Margui ja Grieken 2013).

Normaali XRF-laitte koostuu neljästä eri osasta, jotka ovat näytteenasetuspaikka, havainnointisysteemi, aktivointisysteemi, sekä datankeräys- ja käsittelysysteemi. Näytteenasetuspaikkaan sijoitetaan tutkittava näyte ja näytepaikkojen lukumäärä laitteessa voi vaihdella sadasta paikasta vain muutamaan paikkaan. Aktivointisysteemi tuottaa laitteessa tapahtuvan ionisaation, kun puolestaan havainnointisysteemin tarkoituksena on muuttaa näytteestä tulevat röntgensäteilyfotonit sähköpulsseiksi. Datankeräys- ja käsittelysysteemi voimistaa havainnointisysteemistä tulevat sähköpulssit, sekä laskee ja tulkitsee ne. (Margui ja Grieken 2013)



**Kuva 7.** Vasemmalla näytteen analysointi pXRF-laitteella ja oikealla Loamy sand 10 -näytepussi, jota käytettiin pXRF-analyysin vertailunäytteenä.

XRF-laitteita saa pieninä kenttälaitteina (pXRF), joilla voidaan mitata alkuaineita magnesiumin ja uraanin välillä (Hatakka et al. 2016). pXRF-laitteissa on yleensä 40 kV tai 50 kV röntgenputki, joka tuottaa laitteesta tulevan röntgensäteilyn (Lemiere 2018). Aikaisemmin röntgenputket olivat radioaktiivisia ( $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ), mutta nykyään radioaktiivisista aineista on luovuttu (Parson et al. 2012). pXRF:ssä on kaksi eri tilaa: soil ja maining+, joista soil tila sopii paremmin ympäristönäytteiden analysointiin, koska se huomioi paremmin kevyet alkuaineet (Hatakka et al. 2016). Eri tilojen tulosten vertailu keskenään ei ole kuitenkaan mielekäästä, sillä ne käyttävät erilaisia kalibraatiomenetelmiä (Hatakka et al. 2016). pXRF-laite on nopea ja tarkka, sekä sen hinta on halvempi, kuin laboratoriossa käytettävien laitteiden. Kuvassa 7 on Niton XL3t pXRF-laite, joka on liitettynä näytteen asettelupaikkaan.

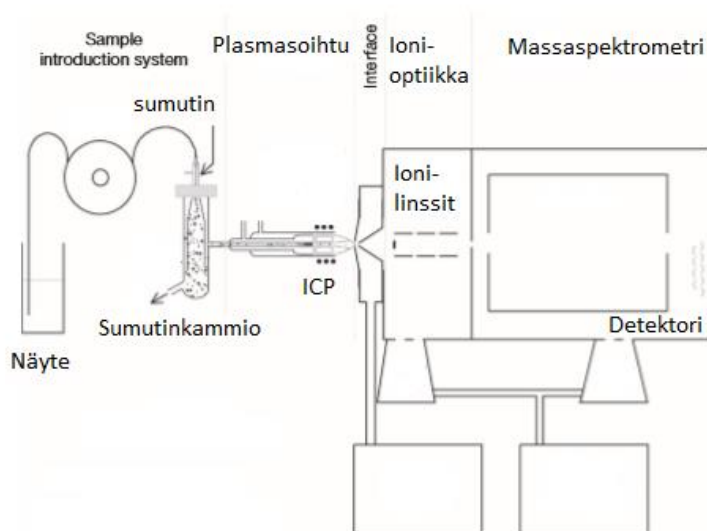
Tutkimuksen näytteet analysoitiin soil-tilassa, 100 sekunnin ajan ja yhdestä näytepussista tehtiin kaksi analyysiä, niin että pussista otettiin uusinäyte. Näyte sijoitettiin erilliselle näytteen asettelupaikalle, johon pXRF-laite liitettiin (Kuva 7). Näyte asetettiin läpinäkyvän kalvon päälle, jonka läpi pXRF-laite teki mittauksen. Kalvo vaihdettiin jokaisen analyysin jälkeen uuteen, minkä lisäksi analysoitu näyte heitettiin pois. Loamy sand 10 -vertailunäyte analysoitiin 55 kertaa ja NCSZC73007 -vertailunäyte kerran. Loamy Sand 10 -vertailunäyte mitattiin kelmupussin läpi, kun puolestaan NCSZC73007 -näyte mitattiin samaan tapaan kuin puisto-, saari- ja uimarantanäytteet (Kuva 7).

### 4.3 ICP-MS-analysaattori

ICP-MS:llä mitataan näytteissä olevien ionien massa/varaus suhdetta (Olesik 2014). Näyte syötetään ICP-MS-laitteeseen yleensä neste muodossa, joten kiinteät näytteet pitävät muuttaa nestemäisiksi ennen ICP-MS-analyysiä (Thomas 2013). Näytteen valmistuksessa suositeltava happo on  $\text{HNO}_3$ , sillä esimerkiksi  $\text{HCl}$  ja  $\text{HClO}_4$  aiheuttavat  $^{35}\text{ClO}$  ja  $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}$  yhdisteiden syntymisen, joka vaikeuttaa näytteen vanadiini- ja arseenipitoisuuden mittaamista (Thomas 2013).

ICP-MS-laitte koostuu viisi osaa, jotka ovat näytteensyöttö, plasmasoihdu, interface, ionioptiikka ja massaspektrometri (Kuva 8). Näytteensyöttöosa koostuu puolestaan kahdesta osasta: pneumaattinen sumutin ja sumutinkammio (Thomas 2013). Näyte pumpataan ensin sumuttimeen, jossa näytteestä tehdään aerosoli ja sumutetaan sumutinkammioon (Thomas 2013). Sumutuskammiossa näytteen hienot pisarat jatkavat plasmasoihduun, kun puolestaan isot pisarat poistuvat laitteesta jätteenä (Thomas 2013). Plasmasoihduun päätyy vain noin 2 % syötetystä näytteestä (Thomas 2013). Aerosolit kulkeutuvat seuraavaksi plasman läpi, missä näyte ionisoituu ja syntyy positiivisesti varautuneita ioneja  $M^{1+}$  (Thomas 2013).

Plasmasoihdussa syntyneet ionit pumpataan seuraavaksi näytteen väliosaan, jossa on 2–3 kartiota. Kartiot koostuvat yleensä nikkelistä tai platinasta, joista jälkimmäinen kestää paremmin korroosiota. Kartioiden reiät (0,4–1,2 mm) leikkaavat plasman ytimen, joka siirtyy eteenpäin. Seuraavaksi ionit muokataan ionilinsien avulla, joiden tarkoitus on ohjata ja keskittää ionivirta ja poistaa neutraali aines ja fotonit ionivirrasta. Massa-analysaattoreita tavallisin on kvadrupoli, joka koostuu neljästä sauvasta, joissa toisessa parissa on tasavirta, ja toisessa vaihtovirta. Massa-analysaattorin tarkoituksena on erottaa tulevat ionit massa/varaus-suhteen perusteella toisistaan. Massa/varaus-suhteen perusteella valitut ionit päästetään sauvojen lävitse, josta ne kulkeutuvat detektoriin. Detektori muuttaa ionit elektroniseksi signaaliksi, jonka jälkeen signaalit muutetaan konsentraatioiksi kalibraatiostandardien avulla. (Thomas 2013)



**Kuva 8.** ICP-MS-laitteen yleiset osat (Olesik 2014).

ICP-MS-analyysissä esiintyviä ongelmia aiheuttaa mm. näytteen liian suuri liuenneen kiintoaineksen pitoisuus. Tämän seurauksena esimerkiksi kartioihin tai ionilinsseihin voi kertyä ainesta, jolloin näytteen signaali voi alkaa vaeltamaan. Toinen liian suuresta aineksen pitoisuudesta johtuva ongelma on uusien molekyylien syntyminen, esimerkiksi ArCl molekyyli. ICP-MS:ssä ongelmia voi myös aiheuttaa spektraalinen päällekkäisyys, joka ilmenee kahdella eri tavalla: laitteessa voi syntyä kahdenarvoisia ioneja tai kahdella eri alkuaineen isotoopilla on sama mitattava massa, eli esimerkiksi isotoopit  $^{40}\text{Ca}$  ja  $^{40}\text{K}$ . (Olesik 2014)

Kaikki puisto- ja saarinäytteet märkäpoltettiin mikroaaltotekniikalla (EPA 3051) väkevässä typpihapossa, jonka jälkeen ne analysoitiin ICP-MS-menetelmällä (ISO 17294-2). Pitoisuudet kiintoaineksessa laskettiin kaavalla:  $\left(\frac{\text{saatu pitoisuus} \cdot 10 \cdot 20}{\text{näytteen paino (n.0,25g)}}\right)$  Uimarantanäytteet on tutkittu vain pXRF-menetelmällä. Vertailunäytteinä on käytetty pXRF:n tapaan Loamy sand 10 ja NCSZC73007 -näytteitä, sekä laadun varmistamiseksi analysoitiin nolla- vertailu- ja rinnakkaisnäytteitä.

## 5. TULOKSET

### 5.1 Rinnakkais-, nolla- ja vertailunäytteet

ICP-MS- ja pXRF- analyysissä käytettiin vertailunäytteinä Loamy sand 10- ja NCSZC73007 -näytteitä, joiden annetut pitoisuudet näkyvät taulukossa 1 pXRF-analyysissä käytettiin pääasiassa Loamy sand 10 -vertailunäytettä, joka mitattiin kelmupussin läpi, eikä näytettä vaihdettu pussin sisällä (Kuva 7). Jokainen pXRF-analyysi aloitettiin Loamy sand 10-näytteellä, jonka lisäksi 12 analyysin jälkeen vertailunäyte analysoitiin uudelleen. Taulukoista 2-3 nähdään, että Loamy sand 10 -näytteen As-, Cd-, Co-, Cu-, Ni-, Pb- ja Zn-pitoisuudet vaihtelevat hiukan analyysien välillä, mutta pitoisuudet vastaavat aika hyvin annettuja pitoisuuksia. Vertailunäytteessä käytettävä pussi voi aiheuttaa pitoisuuseroja, sillä näytteen asento muuttuu analyysikertojen välissä. Vanadiini- ja kromipitoisuudet ovat selvästi korkeampia, kuin annetut pitoisuudet, joten tämä pitää huomioida pXRF-tulosten tarkastelussa. NCSZC73007 -vertailunäytteessä V-, Cr-, Cu-, Zn-, As- ja Pb-pitoisuudet ovat

korkeammat kuin annettu pitoisuus ja suurin pitoisuusero NCSZC73007 - vertailunäytteen ja annetun pitoisuuden välillä on vanadiinissa, arseenissa, kromissa ja sinkissä (Taulukko 2-3). Kromi- ja vanadiinipitoisuudet eivät eroa annetuista pitoisuuksista niin paljon, kuin Loamy sand 10 -näytteen kohdalla.

**Taulukko 2.** Vertailunäytteiden Loamy Sand 10 ja NCSZC73007 pitoisuudet (ppm) pXRF-menetelmässä.

pXRF		V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
NCSZC73007	(n=1)	132	104	-	-	41	142	33	-	80
Loamy Sand	(n=55)									
	Max	540,2	674,2	150,5	190,7	77,3	289,4	169,7	52,9	384,1
	Yläkvartiilit	491,3	586,1	119,7	172,3	67,1	258	145,3	41,5	362,2
	Med.	461,2	547,6	101,2	158,7	62,4	245,9	138,8	39,0	350,6
	Alakvartiili	446	529,8	84,7	147	58,6	236,1	133,7	34,1	342,9
	Min	322,3	417,2	0,0	116,2	52,7	212,5	120,3	23,8	313,9

**Taulukko 3.** Vertailunäytteiden annetut pitoisuudet.

Näyte	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Loamy Sand 10	314	302	108	201	61,2	251	132	56,6	315
NCSZC73007	105	67	13,6	27,4	32	100	18	0,25	61

ICP-MS-menetelmässä näytteet märkäpoltettiin väkevässä typpihapossa (EPA 3051) ennen analyysia ja poltoissa oli mukana 15 nollanäytettä, 7 rinnakkais-, Loamy sand 10- ja NCSZC73007 -näytettä. Rinnakkaisnäytteiden pitoisuudet vastaavat hyvin toisiaan, kun puolestaan nollanäytteissä Cr-, Co-, Ni-, Zn- ja Pb-pitoisuudet ylittivät paikoitellen määrittäysrajan ja V-, Cu-, As- ja Cd-pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan (Taulukko 8–9). Määrittäysrajan ylittävät pitoisuudet ovat kuitenkin pieniä, joten saatuja tuloksia voidaan käyttää tarkastelussa. Loamy sand 10 -näytteen alkuainepitoisuudet muistuttavat annettuja arvoja, kun puolestaan NCSZC73007-näytteistä saadut pitoisuudet eroavat annetuista virallisista arvoista (Taulukko 4–7). Pitoisuuserot annettuihin arvoihin johtuu NCSZC73007 -näytteen matriisin erilaisesta liukoisuudesta typpihappoon, eivätkä ne kuvasta epäonnistunutta märkäpolttoa tai ICP-MS-analyysiä.



**Taulukko 4.** Vertailunäytteen NCSZC73007 V, Cr, Co, Ni ja Cu pitoisuudet (ppm) ICP-MS:ssä

Putki	V	Saanto %	Cr	Saanto %	Co	Saanto %	Ni	Saanto %	Cu	Saanto %
3	46,6	44,4	32,0	47,8	10,6	77,9	18,5	67,6	25,6	80,0
67	45,8	43,6	31,2	46,5	9,8	72,4	17,7	64,7	23,9	74,8
106	38,1	36,3	26,1	38,9	9,5	69,6	15,4	56,1	22,6	70,8
146	38,2	36,4	26,2	39,2	9,4	69,1	15,3	55,8	22,6	70,7
186	42,1	40,1	28,8	43,0	10,5	77,1	17,0	62,0	25,5	79,6
226	41,6	39,6	28,3	42,2	10,4	76,5	16,8	61,3	25,4	79,5
262	43,6	41,5	29,9	44,6	10,4	76,6	17,5	63,9	25,5	79,8

**Taulukko 5.** Vertailunäytteen NCSZC73007 Zn, As, Cd ja Pb pitoisuudet (ppm) ICP-MS:ssä

Putki	Zn	Saanto %	As	Saanto %	Cd	Saanto %	Pb	Saanto %
3	79,5	79,5	13,2	73,6	0,3	111,0	52,5	86,1
67	74,5	74,5	12,8	70,9	0,3	106,6	54,5	89,3
106	68,7	68,7	11,8	65,8	0,3	104,8	49,4	81,0
146	70,1	70,1	12,1	67,5	0,3	111,3	52,7	86,3
186	66,9	66,9	11,4	63,4	0,3	107,3	50,9	83,5
226	64,7	64,7	11,1	61,9	0,3	108,6	50,5	82,8
262	63,9	63,9	11,1	61,5	0,3	102,6	52,6	86,2

**Taulukko 6.** Vertailunäytteen Loamy Sand 10 V, Cr, Co, Ni ja Cu pitoisuudet (ppm) ICP-MS:ssä

Putki	V	Saanto %	Cr	Saanto %	Co	Saanto %	Ni	Saanto %	Cu	Saanto %
2	294,3	93,7	283,8	94,0	102,3	94,8	202,4	100,7	57,2	93,5
66	274,8	87,5	265,7	88,0	95,0	88,0	181,9	90,5	52,6	85,9
105	274,1	87,3	260,4	86,2	95,5	88,4	176,8	88,0	52,9	86,4
145	266,2	84,8	252,6	83,6	93,5	86,6	170,8	85,0	50,7	82,8
185	283,6	90,3	271,3	89,8	100,5	93,1	183,8	91,5	54,9	89,6
225	293,3	93,4	279,3	92,5	103,7	96,1	192,1	95,6	56,5	92,4
261	290,0	92,4	281,1	93,1	105,6	97,8	193,2	96,1	57,5	94,0

**Taulukko 7.** Vertailunäytteen Loamy Sand 10 Zn, As, Cd ja Pb pitoisuudet (ppm) ICP-MS

Putki	Zn	Saanto %	As	Saanto %	Cd	Saanto %	Pb	Saanto %
2	221,5	88,2	125,4	95,0	57,5	101,6	337,3	107,1
66	209,9	83,6	119,7	90,7	54,7	96,7	341,1	108,3
105	216,7	86,3	118,2	89,6	55,6	98,2	343,6	109,1
145	218,7	87,1	115,2	87,3	54,5	96,2	343,0	108,9
185	192,5	76,7	105,3	79,8	54,0	95,3	333,1	105,8
225	213,3	85,0	109,8	83,2	54,5	96,3	338,9	107,6
261	213,7	85,1	104,5	79,2	54,6	96,5	349,5	111,0

**Taulukko 8.** Nollanäytteiden pitoisuudet kiintoaineksessa (ppm) ICP-MS:ssä ja määrittäysrajat. MDL(1):llä tarkoitetaan putkien 1–164 määrittäysrajaa, kun puolestaan MDL(2) on putkien 187–263 määrittäysraja.

putki	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
1	<0,0056	0,0664	0,0024	0,0408	<0,0768	0,5696	<0,0256	<0,0040	0,0992
33	<0,0056	0,0512	0,0016	0,0336	<0,0768	0,1160	<0,0256	<0,0040	0,0152
41	<0,0056	<0,0320	<0,0008	<0,0160	<0,0768	0,1480	<0,0256	<0,0040	0,0392
59	<0,0056	<0,0320	<0,0008	<0,0160	<0,0768	<0,0992	<0,0256	<0,0040	0,0224
65	<0,0056	<0,0320	<0,0008	<0,0160	<0,0768	<0,0992	<0,0256	<0,0040	<0,0088
83	<0,0056	0,3128	0,0016	0,0192	<0,0768	0,2040	<0,0256	<0,0040	0,0848
107	<0,0056	<0,0320	0,0016	0,0184	<0,0768	<0,0992	<0,0256	<0,0040	0,0432
124	<0,0056	0,0624	<0,0008	<0,0160	<0,0768	<0,0992	<0,0256	<0,0040	0,0344
147	<0,0056	<0,0320	<0,0008	<0,0160	<0,0768	0,1848	<0,0256	<0,0040	0,0272
164	<0,0056	<0,0320	<0,0008	<0,0160	<0,0768	<0,0992	<0,0256	<0,0040	0,0456
187	<0,0168	0,1092	<0,0080	<0,0080	<0,0592	0,3217	<0,0104	<0,0056	0,0288
204	<0,0168	<0,0456	<0,0080	<0,0080	<0,0592	0,3981	<0,0104	<0,0056	<0,0112
227	<0,0168	<0,0456	<0,0080	0,0997	<0,0592	0,1401	<0,0104	<0,0056	0,0251
244	<0,0168	<0,0456	<0,0080	<0,0080	<0,0592	0,1156	<0,0104	<0,0056	<0,0112
263	<0,0168	<0,0456	<0,0080	<0,0080	<0,0592	<0,1000	<0,0104	<0,0056	0,0234
MDL(1)	0,0056	0,0320	0,0008	0,0160	0,0768	0,0992	0,0256	0,0040	0,0088
MDL(2)	0,0168	0,0456	0,0080	0,0080	0,0592	0,1000	0,0104	0,0056	0,0112

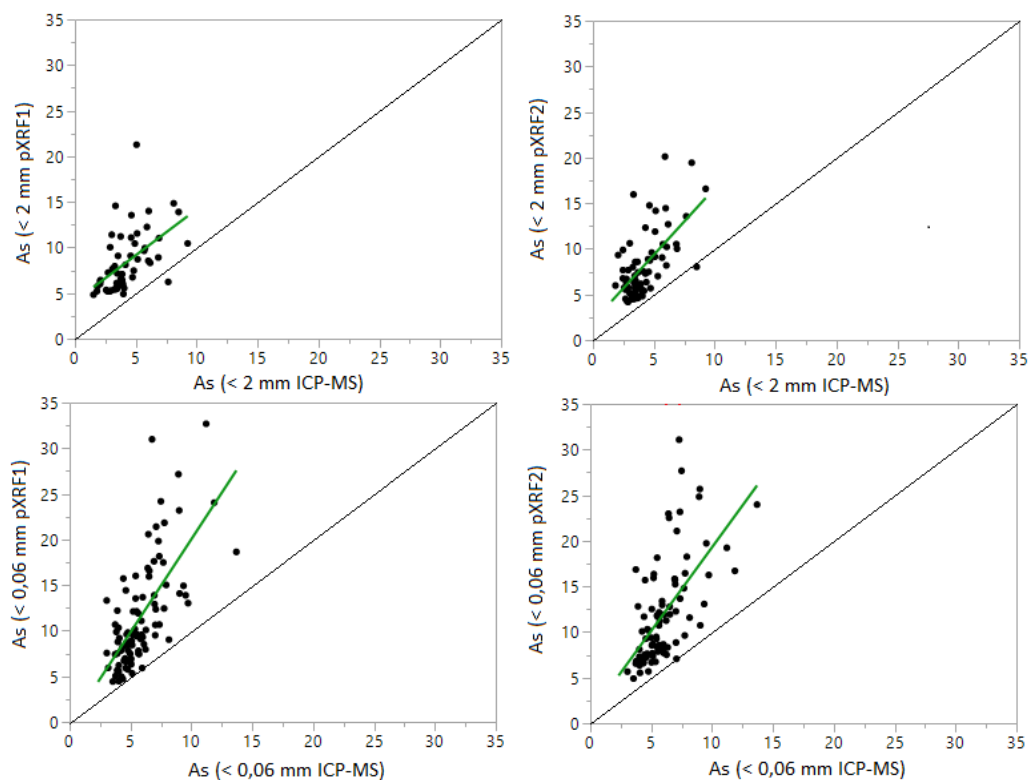
**Taulukko 9.** Rinnakkaisnäytteiden pitoisuudet ICP-MS:ssä. Kirjaimella r tarkoitetaan rinnakkaisnäytettä. Suluissa näytteen raekoko (2: < 2 mm, H: < 0,06 mm).

Näyte	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
HII2 (2)	36,5	31,1	6,8	14,5	25,9	68,5	3,5	0,1	10,6
HII2r (2)	38,0	28,9	6,3	14,2	24,3	68,6	3,4	0,2	10,2
HII2 (H)	44,7	42,4	8,2	20,3	34,6	89,1	4,3	0,2	14,5
HII2r (H)	44,7	42,8	8,5	20,9	33,9	91,3	4,5	0,2	15,3
HIL2 (2)	38,3	41,3	5,9	15,2	68,3	162,6	4,8	0,3	24,0
HIL2r (2)	48,4	45,8	6,3	16,6	75,4	175,4	4,7	0,4	24,6
HIL2 (H)	43,7	70,2	7,6	26,4	107,9	233,5	6,1	0,5	33,8
HIL2r (H)	39,7	63,1	7,1	24,2	102,6	221,2	5,6	0,4	32,2
PII1 (H)	45,2	46,4	7,9	22,2	26,1	82,0	3,0	0,2	14,0
PII1r (H)	45,5	46,7	8,0	22,3	26,3	84,2	3,1	0,2	13,4
VII2 (2)	12,6	10,3	3,7	4,5	16,4	24,3	2,1	0,1	2,7
VII2r (2)	12,6	5,8	2,9	5,7	10,2	23,3	1,5	0,0	2,2
VII2 (H)	28,9	27,6	7,6	13,3	44,1	69,3	6,0	0,3	19,5
VII2r (H)	29,6	27,3	7,0	12,8	40,3	63,6	5,5	0,3	18,5

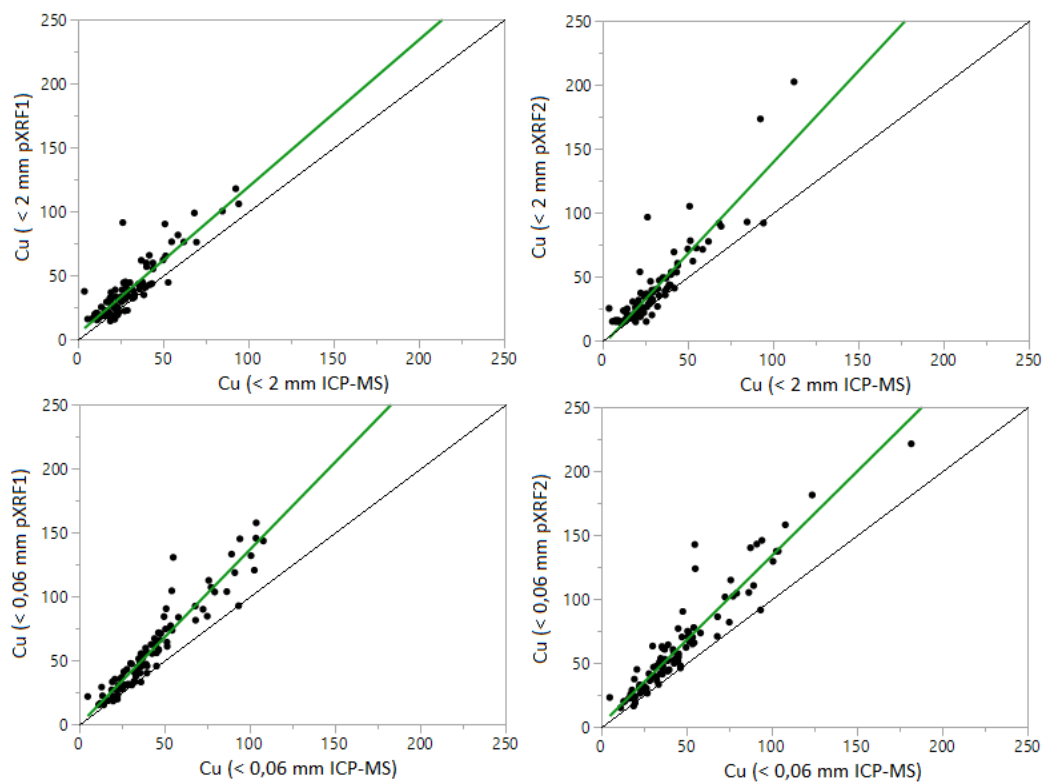
Näytteet analysoitiin kaksi kertaa pXRF-menetelmässä. Kahden pXRF-analyysin tulokset ovat samanlaisia, joten pXRF-tulosten keskiarvoa, eli pXRF(ka), voidaan käyttää aineiston tulosten käsittelyssä (Taulukko 10, Kuvat 10–11).

**Taulukko 10.** Kahden pXRF-analyysin mediaaneja, alle 2 mm ja < 0,06 mm raekoossa.

Aine	pXRF 1 mediaani < 2 mm	pXRF 2 mediaani < 2 mm	pXRF 1 mediaani < 0,06 mm	pXRF 2 mediaani < 0,06 mm
V	63,4	62,9	88,8	88,7
As	7,48	7,18	9,71	10,7
Cu	33,3	31,5	51,9	51,7
Cr	37,4	40,4	63,1	62,7
Zn	79	76	131	122
Pb	33,3	32,1	49,8	46,9

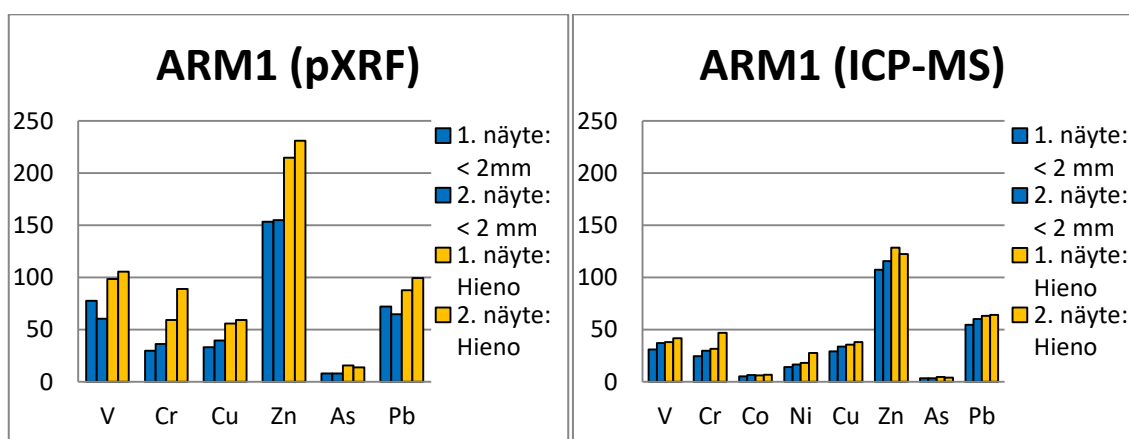


**Kuva 10.** Kahden pXRF-analyysin (pXRF1, pXRF2) arseenipitoisuuksia verrattuna ICP-MS-tuloksiin < 2 mm:n ja < 0,06 mm:n raekoossa.

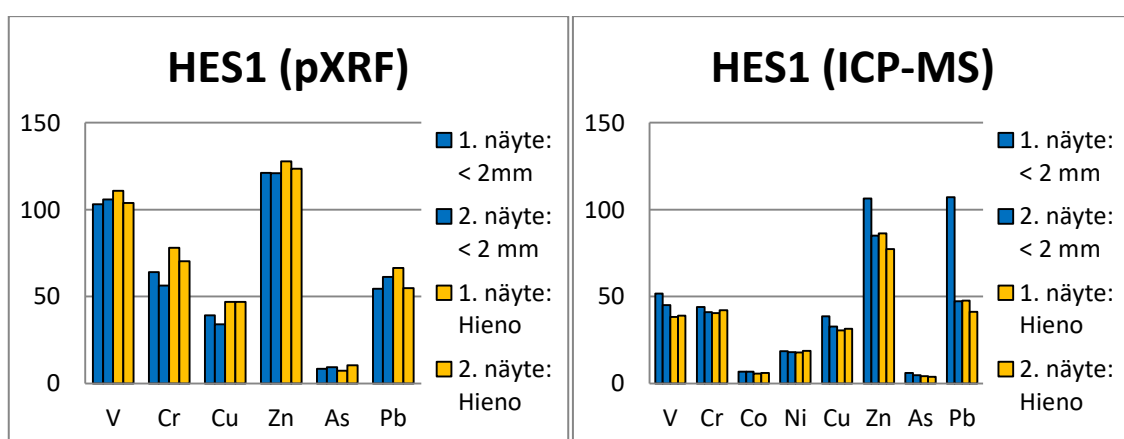


**Kuva 11.** Kahden pXRF-analyysin kuparipitoisuuksia verrattuna ICP-MS-tuloksiin < 2 mm:n ja < 0,06 mm:n raekoossa.

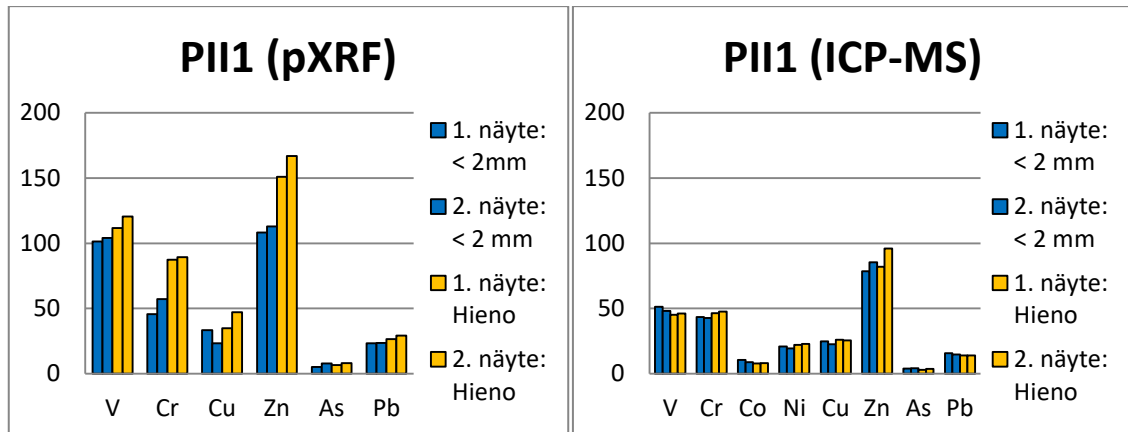
Neljästä puistosta otettiin alkuperäisen näytteen lisäksi rinnakkaisnäyte, joiden nimet ovat ARM1-1, HES1-1, PII1-1 ja PYH1-1. Rinnakkaisnäytteet kerättiin samoista kuopista, kuin alkuperäinen näyte ja tarkoituksena oli tutkia, miten hyvin yksi näyte edustaa näytekuppien pitoisuuksia. Rinnakkaisnäyte seulottiin kahteen eri raekokoon ja analysoitiin pXRF- ja ICP-MS-menetelmällä, niin kuin alkuperäiset näytteetkin. Kuvissa 9A–9D käytetään kahden pXRF-analyysin tulosten keskiarvoa, eli pXRF(ka):ta. Kummassakin menetelmässä rinnakkaisnäytteiden pitoisuudet ovat samanlaisia kuin alkuperäisten näytteiden pitoisuudet (Kuvat 9A–9D). ICP-MS-tuloksissa HES1-1 näytteen sinkki- ja lyijypitoisuus on alhaisempi kuin alkuperäisessä näytteessä, mutta pXRF(ka)-tuloksissa sinkki- ja lyijypitoisuudet eivät eroa alkuperäisen näytteen pitoisuuksista.



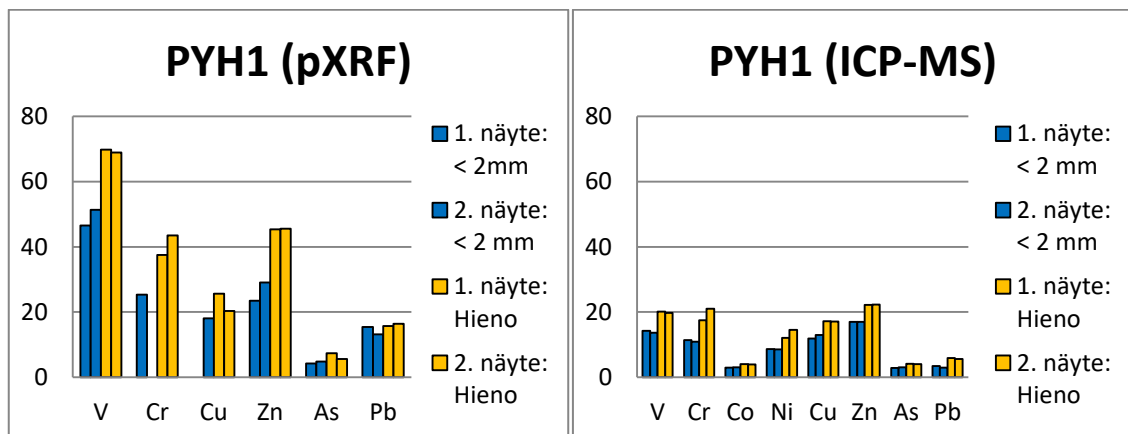
**Kuva 9A.** Alkuperäisen ARM1 -näytteen (1. näyte) ja ARM1-1 -rinnakkaisnäytteen (2. näyte) pitoisuudet ICP-MS- ja pXRF-menetelmissä. Yksikkönä ppm.



**Kuva 9B.** Alkuperäisen HES1 -näytteen (1. näyte) ja HES1-1 -rinnakkaisnäytteen (2. näyte) pitoisuudet ICP-MS- ja pXRF-menetelmissä. Yksikkönä ppm.



**Kuva 9C.** Alkuperäisen PII1 -näytteen (1. näyte) ja PII1-1 -rinnakkaisnäytteen (2. näyte) pitoisuudet ICP-MS- ja pXRF-menetelmissä. Yksikkönä ppm.



**Kuva 9D.** Alkuperäisen PYH1 -näytteen (1. näyte) ja PYH1-1 -rinnakkaisnäytteen (2. näyte) pitoisuudet ICP-MS- ja pXRF-menetelmissä. Yksikkönä ppm.

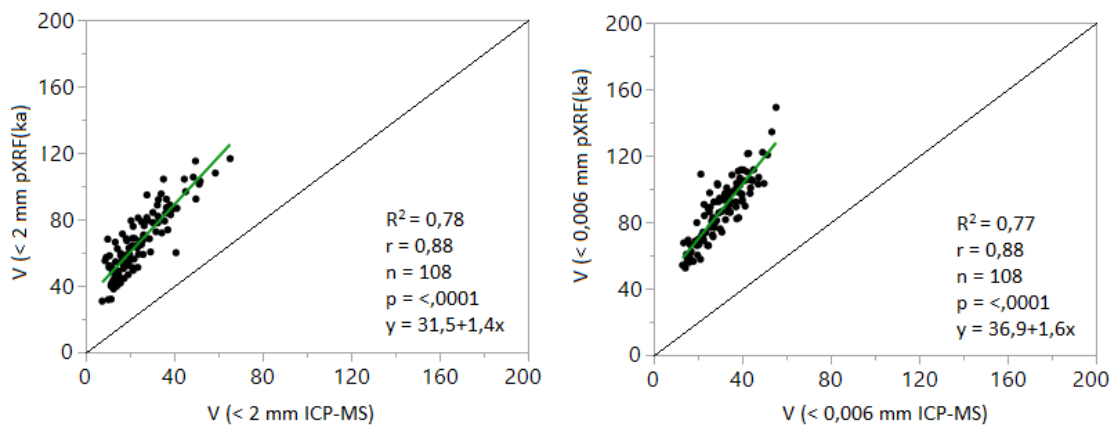
## 5.2 ICP-MS-menetelmän ja pXRF-laitteen vertailu

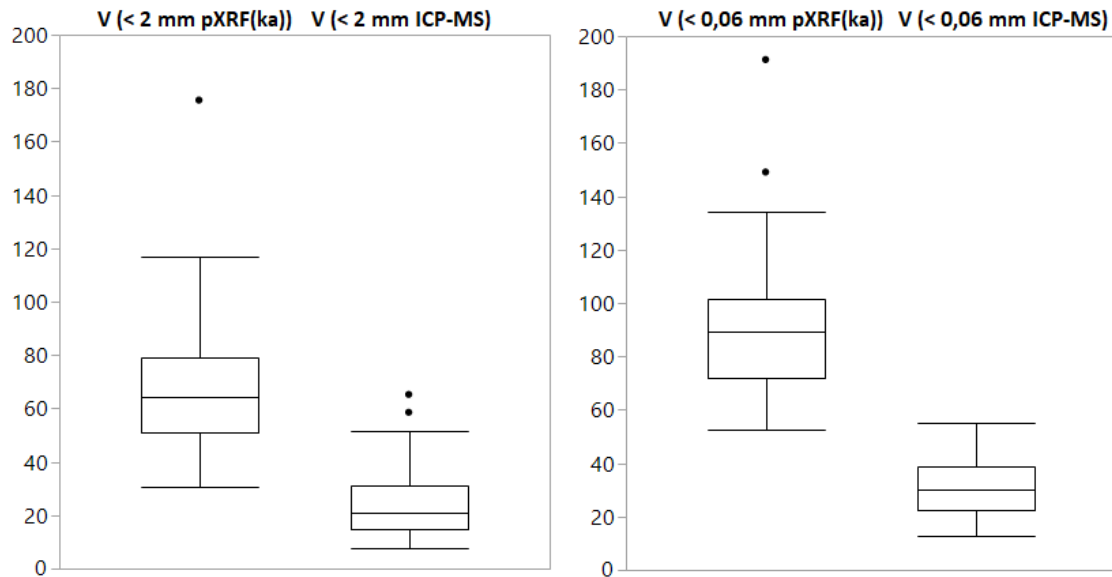
pXRF-analyysissä nikkeli-, koboltti- ja kadmiumpitoisuudet olivat alle määrittäysrajan, joten näille aineille ei tehty vertailua ICP-MS:n ja pXRF:n välillä. Osalla näytteistä kupari-, arseeni- ja kromipitoisuudet jäivät myös alle pXRF-laitteen määrittäysrajan, minkä vuoksi ne jäivät pois tuloksista. Menetelmävertailussa tilastoanalyysin ulkopuolelle on myös jätetty näytteitä, joissa pitoisuudet ovat olleet selvästi korkeampia, kuin muissa näytteissä tai pitoisuudet ovat muuten erottuneet joukosta (Taulukko 11). Laatikkokuvaajista on poistettu ainoastaan näytteet, joissa pitoisuus on ollut alle määrittäysrajan.

**Taulukko 11.** Tilastotilastoanalyyseistä poistetut näytteet.

Aine	Menetelmävertailu (< 2 mm)	Menetelmävertailu (< 0,06 mm)
As	KUM3, PAL1	EIR2, KUM3
Cr	MAL1, PAL1	ILV2, KIR2, MAL1, MAN2
Cu	EUG1, HAA1, MAL1, PAL1	EUG1
Pb	EUG1, KUM3, HES1, PAL1	EIR2, KUM3, UUN1
V	MAL1	MAL1
Zn	EIR2, EUG1, KUM3, MUN2, PAL1	EUG1, KUM3, PAL1

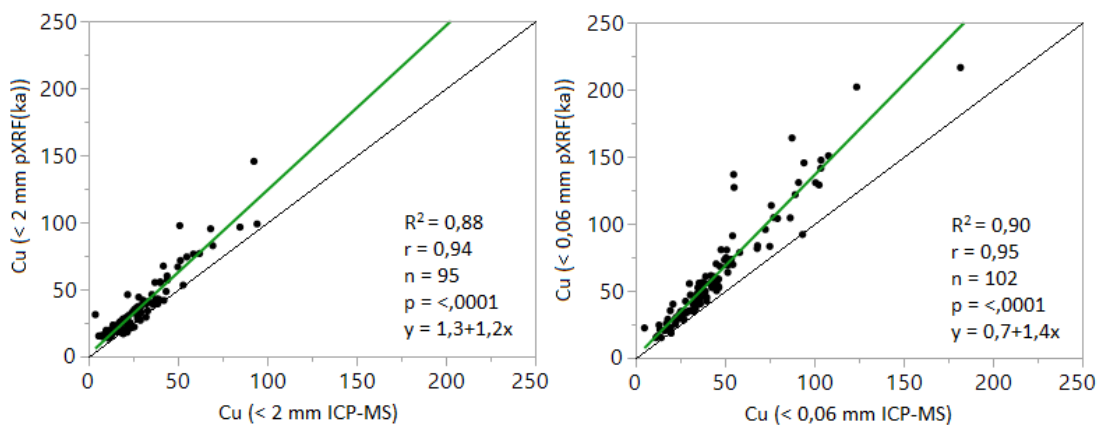
Vanadiinipitoisuudet ovat pXRF-menetelmässä korkeampia, kuin ICP-MS-menetelmässä (Kuva 12). Vanadiinin mediaanipitoisuus on < 2 mm:n raekoossa pXRF (ka):ssa 64,1 ppm ja ICP-MS:ssä 21,1 ppm, kun puolestaan hienoaineksessa mediaani on pXRF(ka):ssa 89,1 ppm ja ICP-MS:ssä 30,0 ppm (Kuva 13). Mediaani on siis kummassakin raekoossa korkeampi pXRF(ka)-tuloksissa, minkä lisäksi vanadiinipitoisuuden jakauma on laajempi pXRF(ka):ssa, kuin ICP-MS:ssä (Kuva 13). Selityskertoimen  $R^2$  on < 2 mm:n raekoossa 0,78 ja hienoaineksessa 0,77, eli 77–78 % pXRF-arvojen vaihtelusta voidaan selittää ICP-MS-arvoilla (Kuva 12). Korrelaatio on kummassakin kuvaajassa 0,88, eli kahden eri menetelmän tulokset korreloivat hyvin.

**Kuva 12.** Vanadiinipitoisuuksien jakautuminen kahden eri menetelmän välillä. Yksikkö ppm.



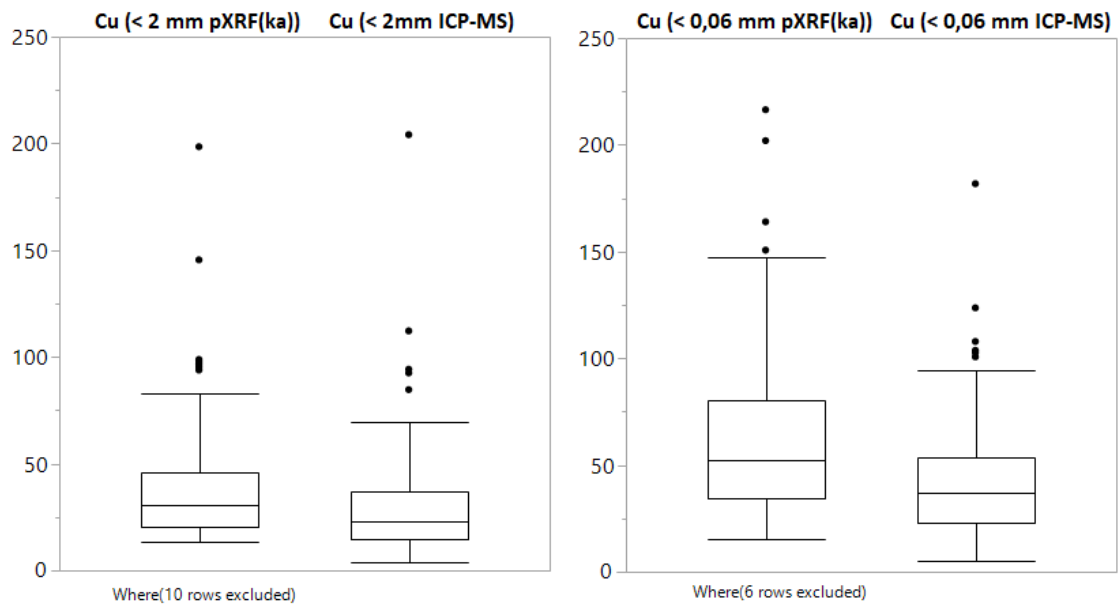
**Kuva 13.** Puisto- ja saarinäytteiden vanadiiniitoisuuden jakauma eri analyysimenetelmissä. Yksikkönä ppm.

Kuparipitoisuudet ovat pXRF-menetelmässä korkeampia, kuin ICP-MS-menetelmässä (Kuva 14). Alle 2 mm:n raekoossa kuparin mediaanipitoisuus on pXRF:ssä 30,5 ppm ja ICP-MS:ssä 23,2 ppm, kun puolestaan hienoaineksessa mediaani on pXRF(ka):ssa 52,4 ppm ja ICP-MS:ssä 37,1 ppm (Kuva 15). Mediaani on siis korkeampi kummassakin raekoossa pXRF(ka)-tuloksissa, kuin ICP-MS-tuloksissa. Alle 2 mm:n raekoossa kuparipitoisuuden jakauma on lähes samanlainen eri menetelmissä, mutta hienoaineksessa pXRF(ka):n pitoisuusjakauma on laajempi kuin ICP-MS:ssä (Kuva 15). Selityskerroin  $R^2$  on < 2 mm:n raekoossa 0,88 ja hienoaineksessa 0,90, eli pXRF-arvot ovat hyvin selitettävissä ICP-MS-arvoilla (Kuva 14). Menetelmien välinen korrelaatio on myös todella hyvä, eli < 2 mm:n raekoossa 0,94 ja hienoaineksessa 0,95 (Kuva 14).



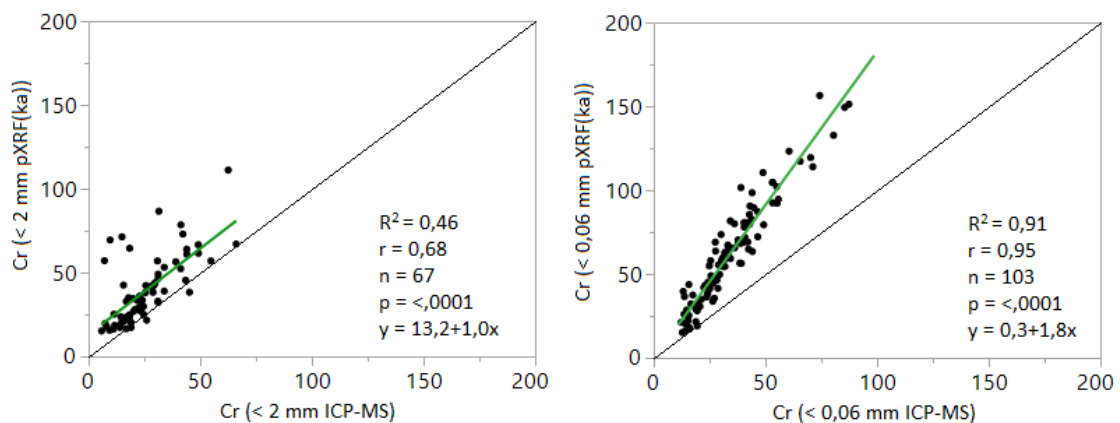
**Kuva 14.** Kuparipitoisuuksien jakautuminen kahden eri menetelmän välillä. Yksikkönä ppm.



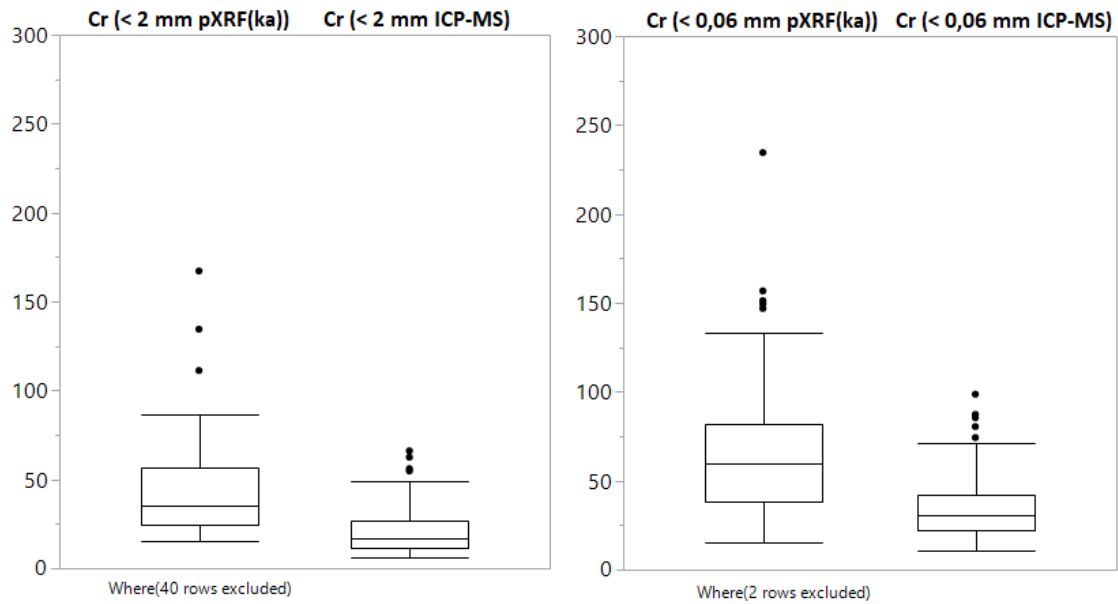


**Kuva 15.** Puisto- ja saarinäytteiden lyijypitoisuuden jakauma eri analyysimenetelmissä. Yksikkönä ppm. pXRF(ka):sta on poistettu < 2 mm:n raekoosta 10 näytettä, jotka ovat jääneet alle määrittämissä ja hienoaineksesta on puolestaan poistettu 6 näytettä.

Kromipitoisuudet ovat pXRF-menetelmässä korkeampia, kuin ICP-MS-menetelmässä (Kuva 16). Kromin mediaanipitoisuus on < 2 mm:n raekoossa pXRF:ssä 35,1 ppm ja ICP-MS:ssä 16,9 ppm, kun puolestaan hienoaineksessa mediaani on pXRF(ka):ssa 59,7 ppm ja ICP-MS:ssä 30,9 ppm (Kuva 17). Mediaanipitoisuus on siis korkeampi kummassakin raekoossa pXRF(ka)-tuloksissa, minkä lisäksi kromipitoisuuden jakauma on pXRF(ka):ssä laajempi, kuin ICP-MS:ssä (Kuva 17). Selitysarvo  $R^2$  on < 2 mm:n raekoossa 0,46 ja hienoaineksessa 0,91, eli < 2 mm:n raekoossa pXRF-arvojen selitettävyyden ICP-MS-arvoilla on huonompi, kuin hienoaineksessa (Kuva 16). Korrelaatio on < 2 mm:n raekoossa 0,68 ja hienoaineksessa 0,95, eli < 2 mm raekoon korrelaatiokin on myös huonompi kuin hienoaineksessa.

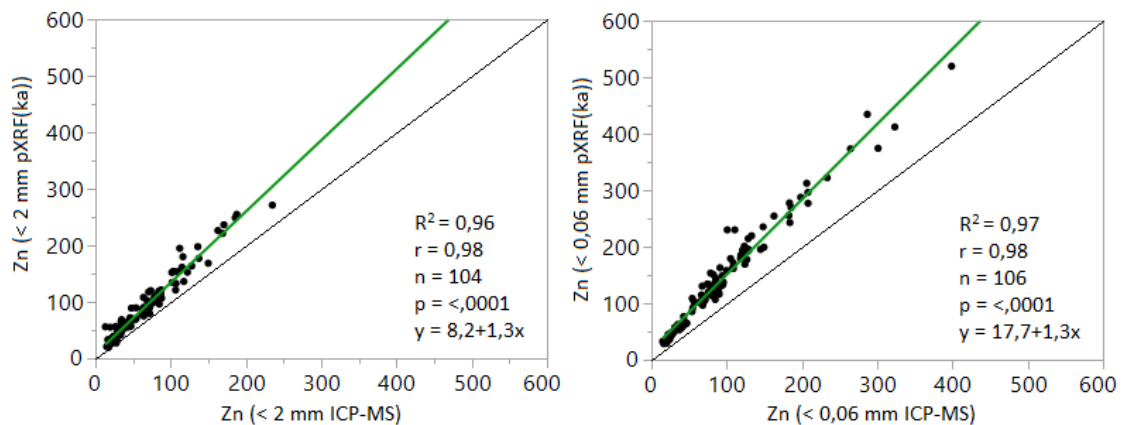


**Kuva 16.** Kromipitoisuuksien jakautuminen kahden eri menetelmän välillä. Yksikkönä ppm.

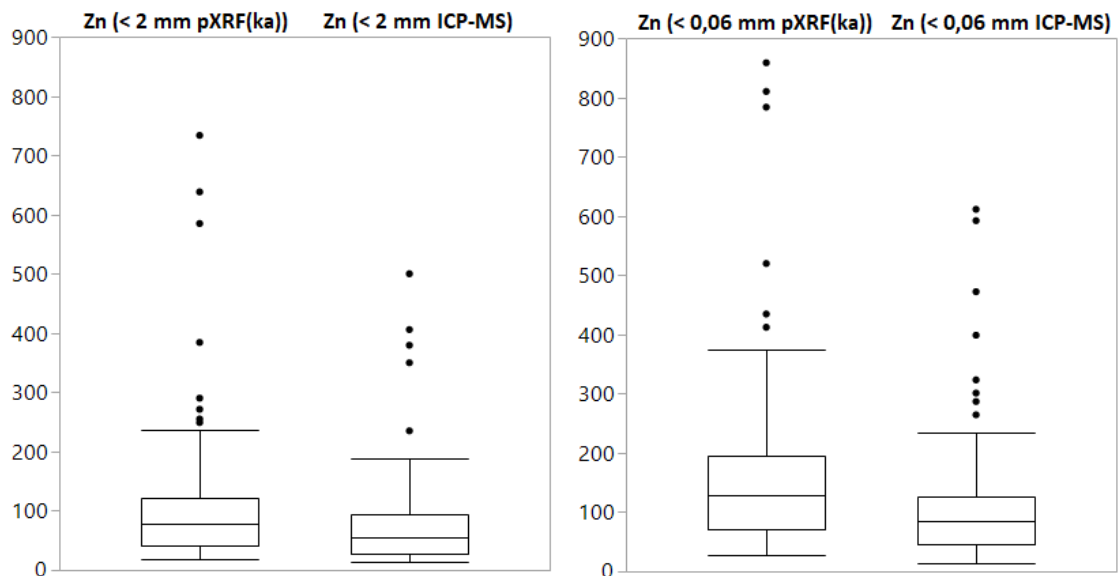


**Kuva 17.** Puisto- ja saarinäytteiden kromipitoisuuden jakauma eri analyysimenetelmissä. Yksikkönä ppm. pXRF(ka):sta on poistettu < 2 mm:n raakoosta 40 näytettä, jotka ovat jääneet alle määrittämissä ja hienoaineksesta on puolestaan poistettu 2 näytettä.

Sinkkipitoisuudet ovat pXRF-menetelmässä korkeampia, kuin ICP-MS-menetelmässä (Kuva 18). Alle 2 mm:n raakoossa sinkin mediaanipitoisuus on pXRF:ssä 78,7 ppm ja ICP-MS:ssä 54,2 ppm, kun puolestaan hienoaineksessa mediaani on pXRF(ka):ssa 128,4 ppm ja ICP-MS:ssä 84,8 ppm (Kuva 19). Mediaanipitoisuus on siis kummassakin raakoossa korkeampi pXRF(ka)-tuloksissa, kuin ICP-MS-tuloksissa, minkä lisäksi sinkkipitoisuuden jakauma on pXRF(ka):ssa laajempi, kuin ICP-MS:ssä (Kuva 19). Selityskertoimen  $R^2$  on < 2 mm:n raakoossa 0,96 ja hienoaineksessa 0,97, eli pXRF-arvojen vaihtelu voidaan todella hyvin selittää ICP-MS-arvoilla (Kuva 18). Korrelaatio on myös kummassakin raakoossa todella hyvä, eli < 2 mm:n raakoossa 0,98 ja hienoaineksessa 0,98.

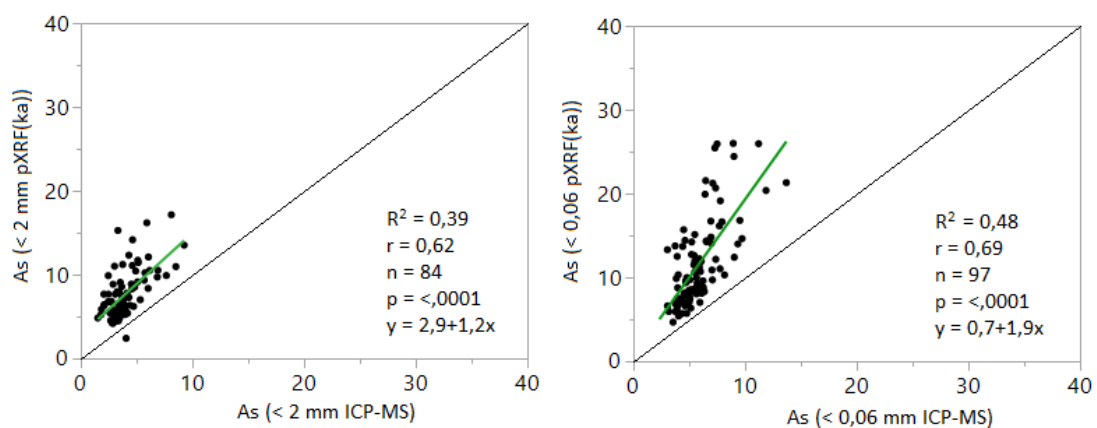


**Kuva 18.** Sinkkipitoisuuksien jakautuminen kahden eri menetelmän välillä. Yksikkönä ppm.

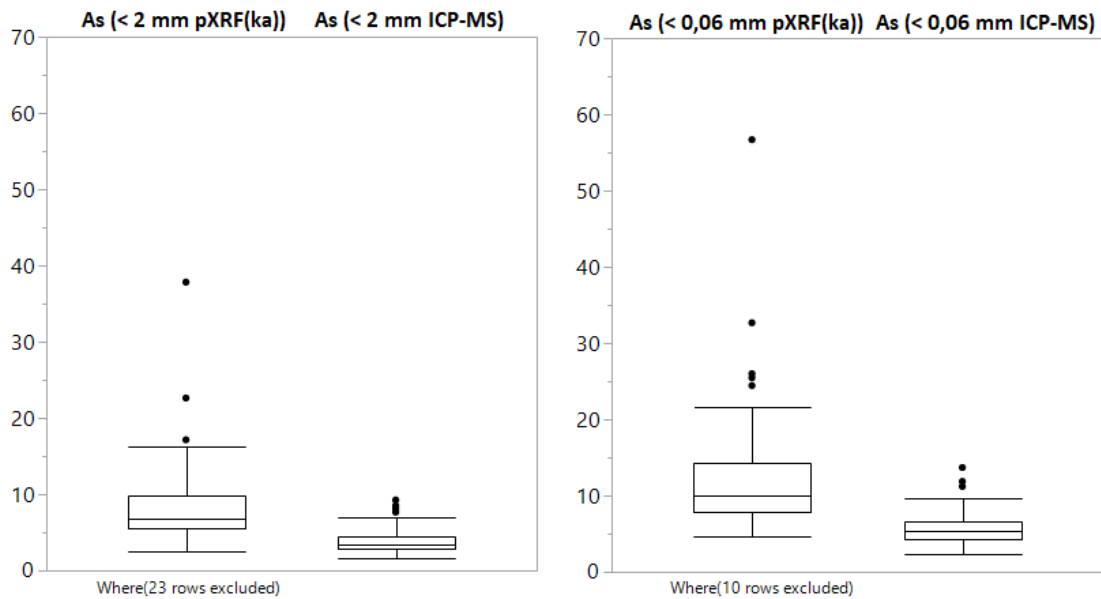


**Kuva 19.** Puisto- ja saarinäytteiden sinkkipitoisuuden jakauma eri analyysimenetelmissä. Yksikkönä ppm.

Arseenipitoisuudet ovat pXRF-menetelmässä korkeampia, kuin ICP-MS-menetelmässä (Kuva 20). Alle 2 mm:n raekoossa arseenin mediaanipitoisuus on pXRF:ssä 6,8 ppm ja ICP-MS:ssä 3,47 ppm, kun puolestaan hienoaineksessa mediaani on pXRF(ka):ssa 9,98 ppm ja ICP-MS:ssä 5,36 ppm (Kuva 21). Mediaanipitoisuus on siis korkeampi kummassakin raekoossa pXRF(ka)-tuloksissa, sekä arseenipitoisuuden jakauma on pXRF(ka):ssa laajempi, kuin ICP-MS:ssä (Kuva 21). Kuvaajien selityskerroin  $R^2$  on < 2 mm:n raekoossa 0,39 ja hienoaineksessa 0,48, eli 39 % ja 48 % pXRF-arvojen vaihtelusta voidaan selittää ICP-MS-arvojen vaihtelulla (Kuva 20). Korrelaatio on < 2 mm:n raekoossa 0,62 ja hienoaineksessa 0,69, eli korrelaatio on tutkituista aineista heikoin (Kuva 20).

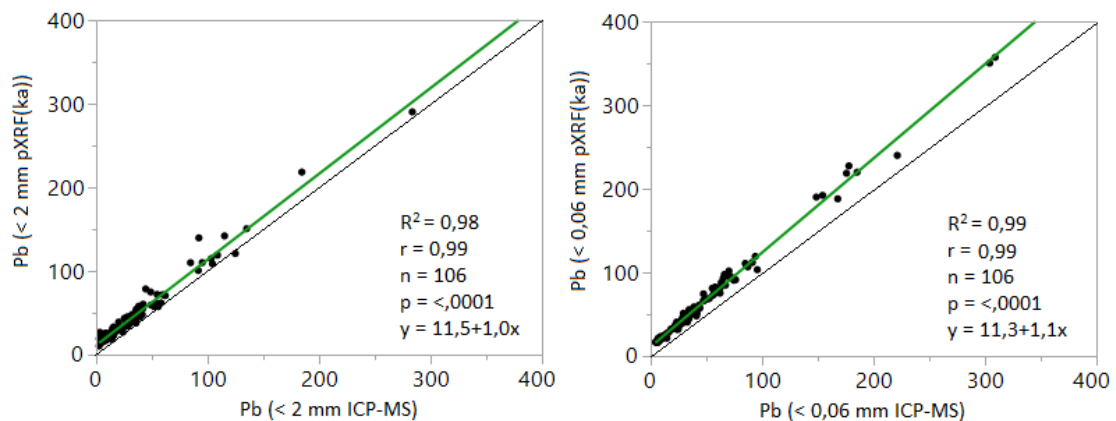


**Kuva 20.** Arseenipitoisuuksien jakautuminen kahden eri menetelmän välillä. Yksikkönä ppm.

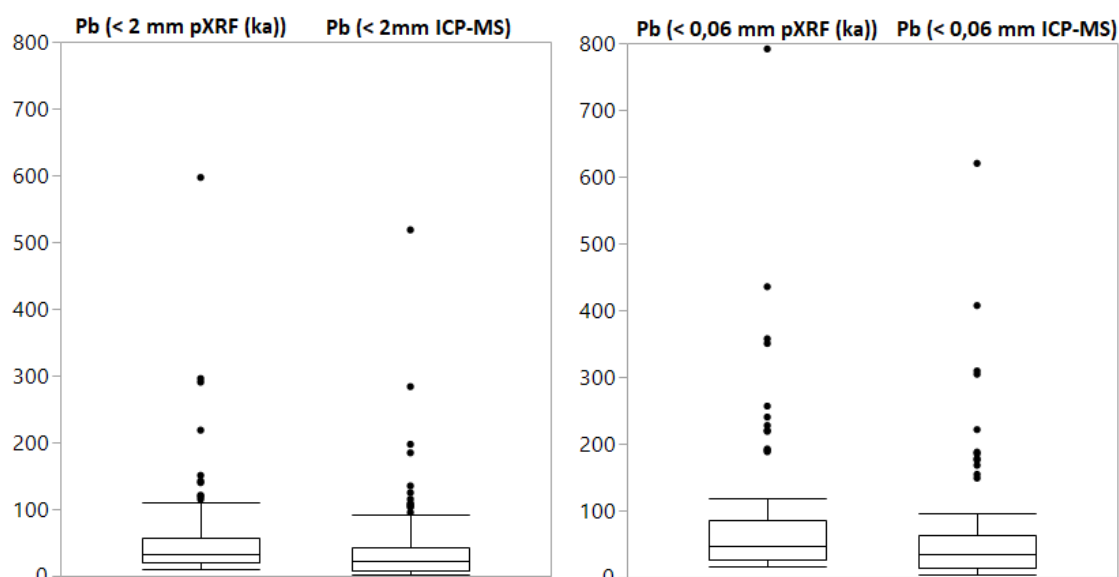


**Kuva 21.** Puisto- ja saarinäytteiden arseenipitoisuuden jakauma eri analyysimenetelmissä. Yksikkönä ppm. pXRF(ka):sta on poistettu < 2 mm:n raekoosta 23 näytettä, jotka ovat jääneet alle määritysrajan ja hienoaineksesta on puolestaan poistettu 10 näytettä.

Lyijypitoisuudet ovat pXRF-menetelmässä korkeampia, kuin ICP-MS-menetelmässä (Kuva 22). Alle 2 mm:n raekoossa lyijyn mediaanipitoisuus on pXRF:ssä 33 ppm ja ICP-MS:ssä 23 ppm, kun puolestaan hienoaineksessa mediaani on pXRF(ka):ssa 47,7 ppm ja ICP-MS:ssä 34,2 ppm (Kuva 23). Mediaani on siis korkeampi kummassakin raekoossa pXRF(ka)-tuloksissa, mutta lyijypitoisuuden jakauma on samanlainen kummassakin menetelmässä (Kuva 23). Selityskerroin  $R^2$  on < 2 mm:n raekoossa 0,98 ja hienoaineksessa 0,99, eli pXRF-arvojen vaihtelu selittyy hyvin ICP-MS-arvoilla (Kuva 22). Korrelaatio on < 2 mm:n raekoossa 0,99 ja hienoaineksessa 0,99, joten lyijy soveltuu hyvin, kun halutaan muuttaa pXRF-tuloksia ICP-MS-tuloksiksi.



**Kuva 22.** Lyijypitoisuuksien jakautuminen kahden eri menetelmän välillä. Yksikkönä ppm.



**Kuva 23.** Puisto- ja saarinäytteiden lyijypitoisuuden jakauma eri analyysimenetelmissä. Yksikkönä ppm.

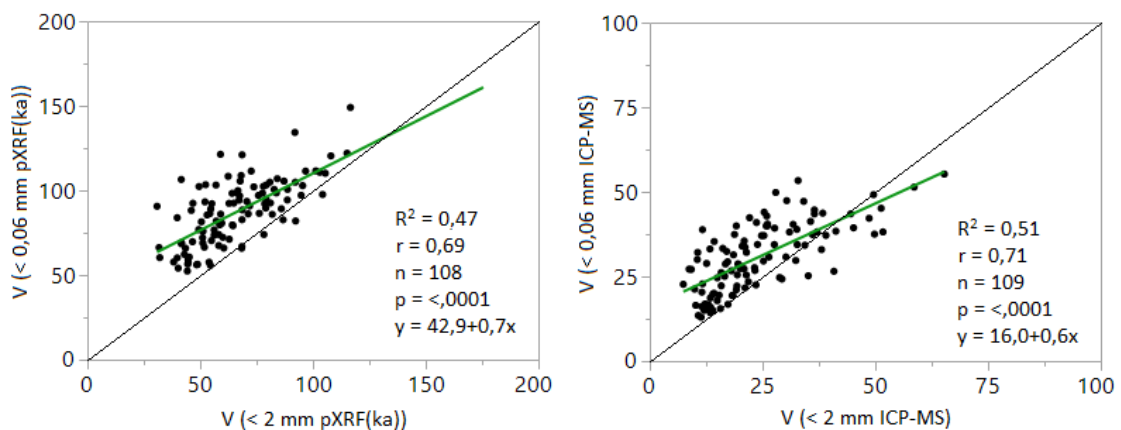
### 5.3 Hienoaineksen ja < 2 mm raekoon metallipitoisuuksien vertailu

Menetelmävertailun tapaan pXRF-tuloksina on käytetty kahden analyysituloksen keskiarvoa, eli pXRF(ka):ta ja näytteitä on jätetty tilastoanalyysien ulkopuolelle (Taulukossa 12).

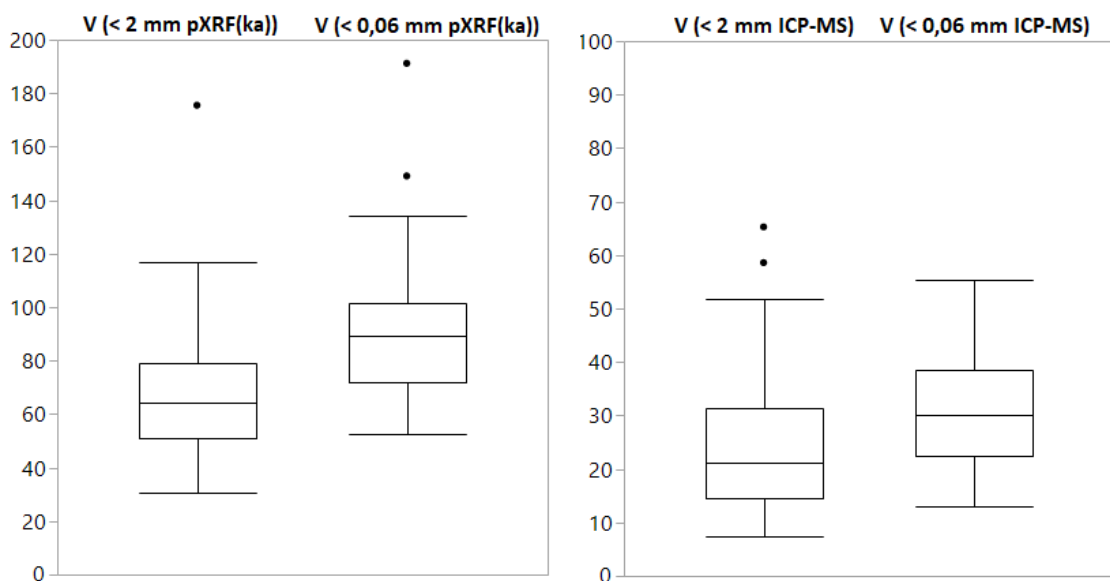
**Taulukko 12.** Tilastoanalyyseistä poistetut näytteet.

Aine	pXRF(ka) raekoko vertailu	ICP-MS raekoko vertailu
As	KUM3, PAL1	JOS1, PII2
Cd	-	KIR1, KIR2, PAL1, POR2
Co	-	MAL1
Cr	LIN2, PAL1, VII1	KIR1, KIR2
Cu	EUG1, KIR2, PAL1	EUG1, HAA1, PAL1
Ni	-	MAL1
Pb	EIR2, KUM3, UUN1	EIR2, HES1, KUM3, UUN1
V	MAL1	-
Zn	EUG1, KIR2, KUM3, PAL1, SUUT1	EIR2, KIR1, MUN2, PAL1, SUUT1

Vanadiinipitoisuudet ovat pääasiassa hienoaineksessa korkeammat, kuin  $< 2$  mm:n raekoossa, mutta etenkin ICP-MS:ssä on näytteitä, joissa pitoisuudet ovat suuremmat  $< 2$  mm:n raekoossa (Kuva 24). Vanadiinin mediaanipitoisuus pXRF(ka):ssä on  $< 2$  mm:n raekoossa 64,1 ppm ja hienoaineksessa 89,1 ppm, kun puolestaan ICP-MS:ssä mediaani on  $< 2$  mm:n raekoossa 21,1 ppm ja hienoaineksessa 30,0 ppm (Kuva 25). Kummassakin menetelmässä mediaanipitoisuus on siis hienoaineksessa korkeampi, kuin  $< 2$  mm:n raekoossa, mutta vanadiinipitoisuuden jakauma on samanmuotoinen raekoissa (Kuva 25). Selityskerroin  $R^2$  on pXRF:ssä 0,47 ja ICP-MS:ssä 0,51, eli n. 50 % hienoainesarvojen vaihtelusta on selitettävissä  $< 2$  mm:n arvoilla (Kuva 24). Korrelaatio on pXRF(ka):ssa 0,69 ja ICP-MS:ssä 0,71, eli tulokset korreloivat kohtalaisesti keskenään (Kuva 24).

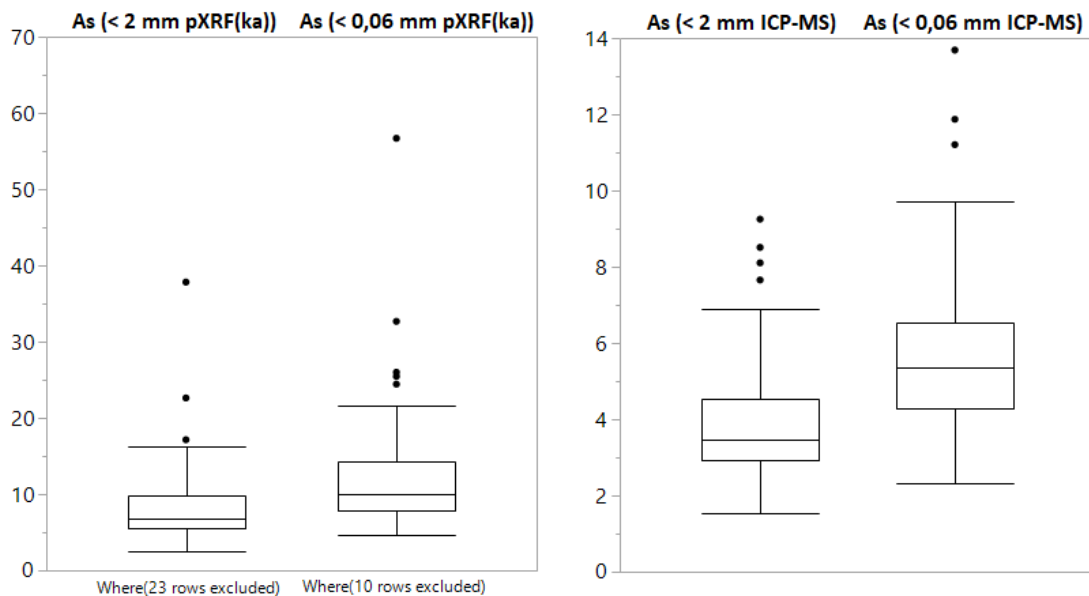


**Kuva 24.** Vanadiinipitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.

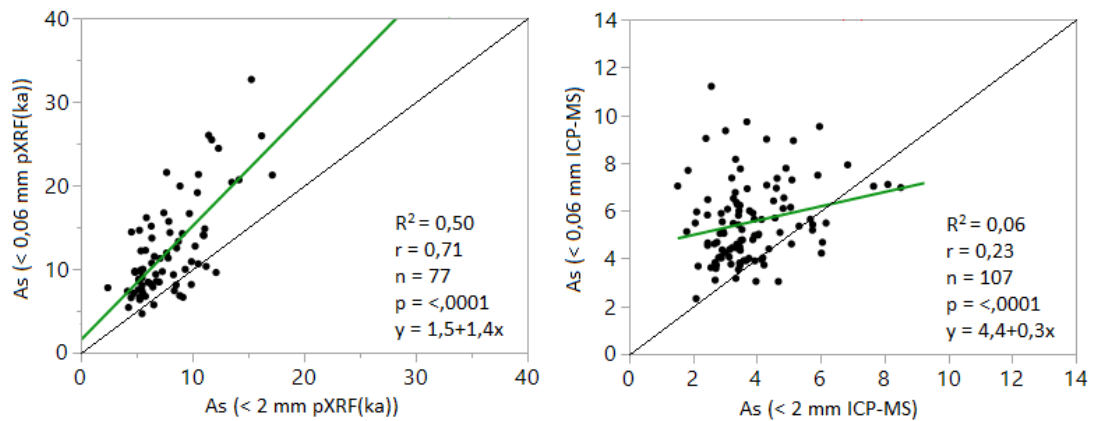


**Kuva 25.** Puisto- ja saarinäytteiden vanadiinipitoisuuden jakauma eri raekoissa. Yksikkönä ppm.

Arseenipitoisuudet ovat korkeampia hienoaineksessa, kuin < 2 mm:n raekoossa, mutta etenkin ICP-MS:ssä on näytteitä, joissa < 2 mm raekoon pitoisuudet ovat suuremmat kuin hienoaineksessa (Kuva 27). Arseenin mediaanipitoisuus pXRF(ka):ssa on < 2 mm:n raekoossa 6,8 ppm ja hienoaineksessa 9,98 ppm, kun puolestaan ICP-MS:ssä mediaani on < 2 mm:n raekoossa 3,47 ppm ja hienoaineksessa 5,36 ppm (Kuva 26). Kummassakin menetelmässä mediaanipitoisuus on korkeampi hienoaineksessa, kuin < 2 mm:n raekoossa, sekä arseenipitoisuuden jakauma on laajempi hienoaineksessa (Kuva 26). Selityskerroin  $R^2$  on pXRF(ka):ssa 0,50 ja ICP-MS:ssä 0,06, eli etenkin ICP-MS:ssä hienoainesarvojen vaihtelu ei ole selitettävissä < 2 mm:n arvoilla (Kuva 26). Korrelaatio on myös huonompi ICP-MS:ssä (0,23), kuin pXRF(ka):ssa (0,71). ICP-MS-kuvaajassa pisteet ovat levinneet laajalle alalle ja kuvaaja eroaa selvästi pXRF(ka)-kuvaajasta (Kuva 27).

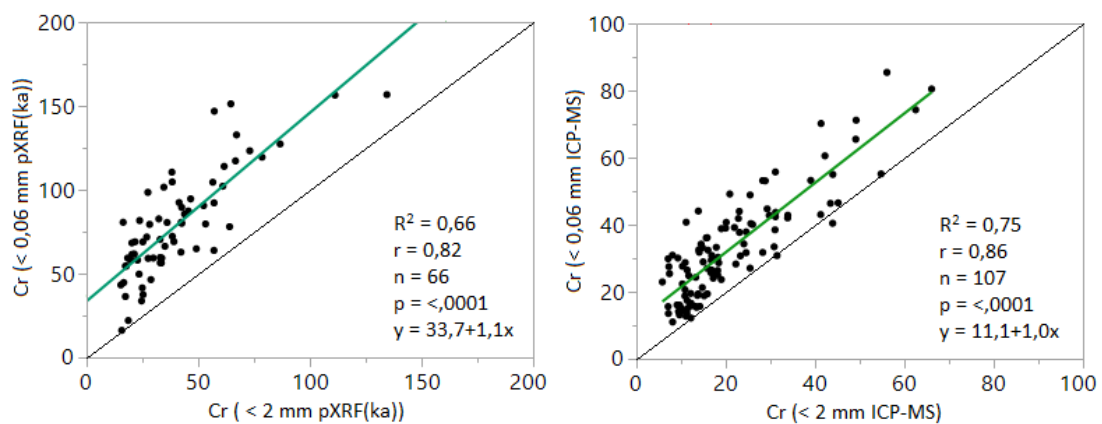


**Kuva 26.** Puisto ja saarinäytteiden arseenipitoisuuden jakauma eri raekoissa. Yksikkönä ppm. pXRF(ka):sta on poistettu < 2 mm:n raekoosta 23 näytettä, jotka ovat jääneet alle määrittämissä ja hienoaineksessa on puolestaan poistettu 10 näytettä.



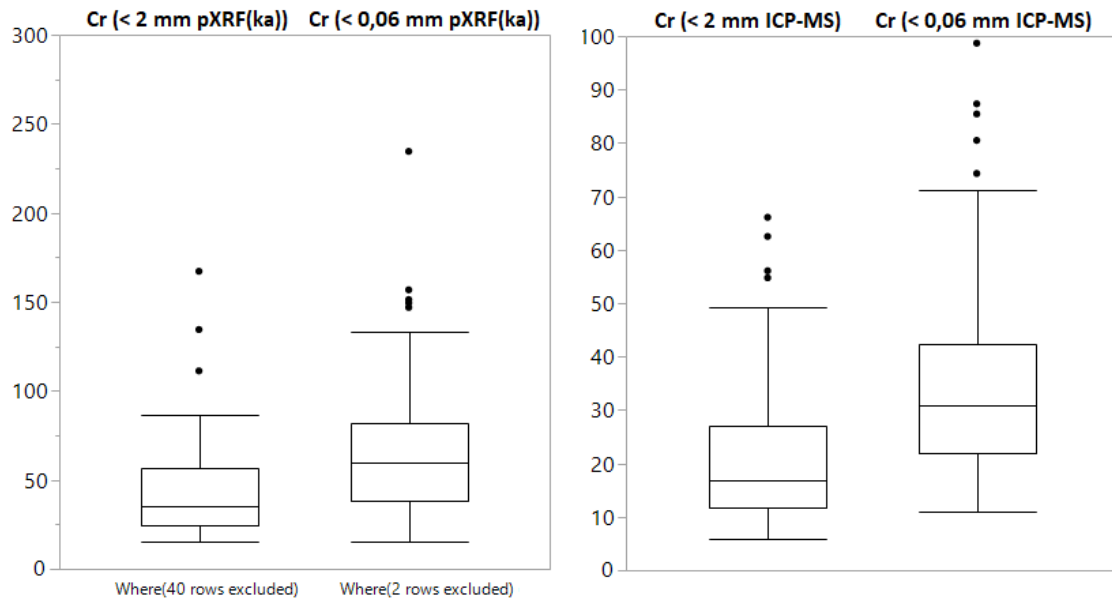
**Kuva 27.** Arseenipitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.

Kromipitoisuudet ovat pääasiassa hienoaineksessa korkeammat, kuin  $< 2$  mm:n raekoossa (Kuva 28). Kromin mediaanipitoisuus pXRF(ka):ssa on  $< 2$  mm:n raekoossa 35,1 ppm ja hienoaineksessa 59,7 ppm, kun puolestaan ICP-MS:ssä mediaani on  $< 2$  mm:n raekoossa 16,9 ppm ja hienoaineksessa 30,9 ppm (Kuva 29). Kummassakin menetelmässä mediaanipitoisuus on korkeampi hienoaineksessa, kuin  $< 2$  mm:n raekoossa, sekä pitoisuuden jakauma on laajempi hienoaineksessa (Kuva 29). Kuvaajien selityskerroin  $R^2$  on pXRF(ka):ssä 0,66 ja ICP-MS:ssä 0,75, eli ICP-MS:ssä 75 % hienoainesarvojen vaihtelusta voidaan selittää  $< 2$  mm:n arvoilla, kuin puolestaan pXRF(ka):ssa 66 % vaihtelusta voidaan selittää  $< 2$  mm:n arvoilla (Kuva 28). Korrelaatio on pXRF(ka):ssa 0,82 ja ICP-MS:ssä 0,86, eli raekokojen korrelaatio on hyvä ja se on samanlainen kummassakin menetelmässä.



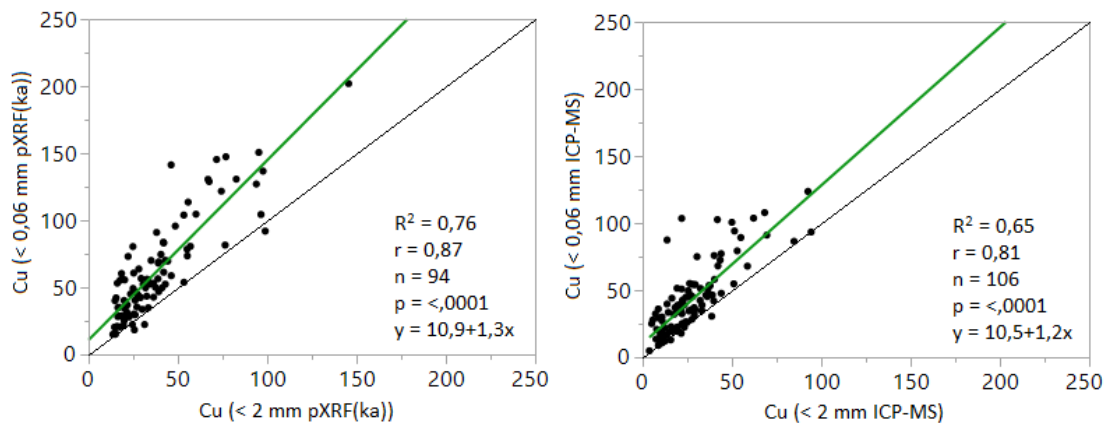
**Kuva 28.** Kromipitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.



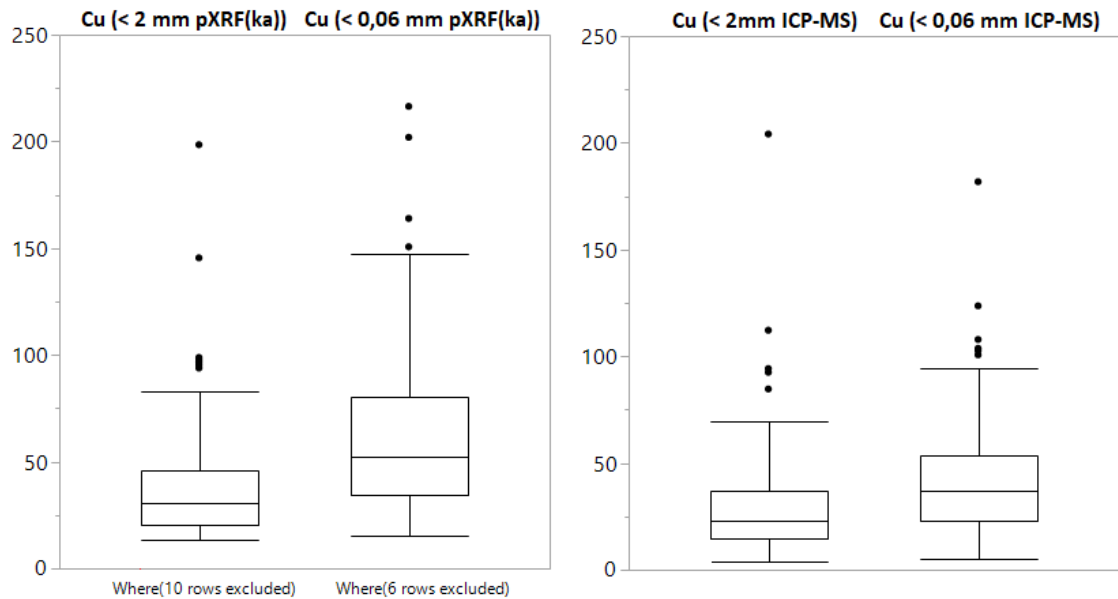


**Kuva 29.** Puisto- ja saarinäytteiden kromipitoisuuden jakauma eri raekoissa. Yksikkönä ppm. pXRF(ka):sta on poistettu < 2 mm:n raekoosta 40 näytettä, jotka ovat jääneet alle määrittämissä ja hienoaineksesta on puolestaan poistettu 2 näytettä.

Kuparipitoisuudet ovat pääasiassa hienoaineksessa korkeampia, kuin < 2 mm:n raekoissa (Kuva 30). Kuparin mediaanipitoisuus pXRF(ka):ssa on < 2 mm:n raekoissa 30,5 ppm ja hienoaineksessa 52,4 ppm, kun puolestaan ICP-MS:ssä mediaani on < 2 mm:n raekoissa 23,2 ppm ja hienoaineksessa 37,1 ppm (Kuva 31). Kummassakin menetelmässä mediaanipitoisuus on korkeampi hienoaineksessa, kuin < 2 mm:n raekoissa, sekä kuparipitoisuuden jakauma on laajempi hienoaineksessa (Kuva 31). Selitysarvo  $R^2$  on pXRF:ssä 0,76 ja ICP-MS:ssä 0,65, eli 65 % ja 76 % hienoainesarvojen vaihtelusta voidaan selittää < 2 mm:n arvoilla (kuva 30). Korrelaatio on pXRF(ka):ssa 0,87 ja ICP-MS:ssä 0,81, eli kahden eri raekoon tulokset korreloivat hyvin toisiaan (Kuva 30).

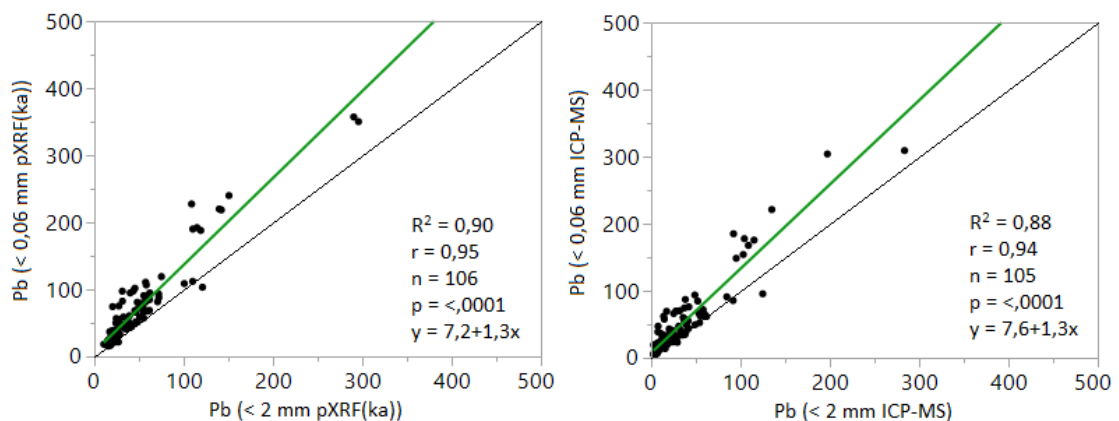


**Kuva 30.** Kuparipitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.

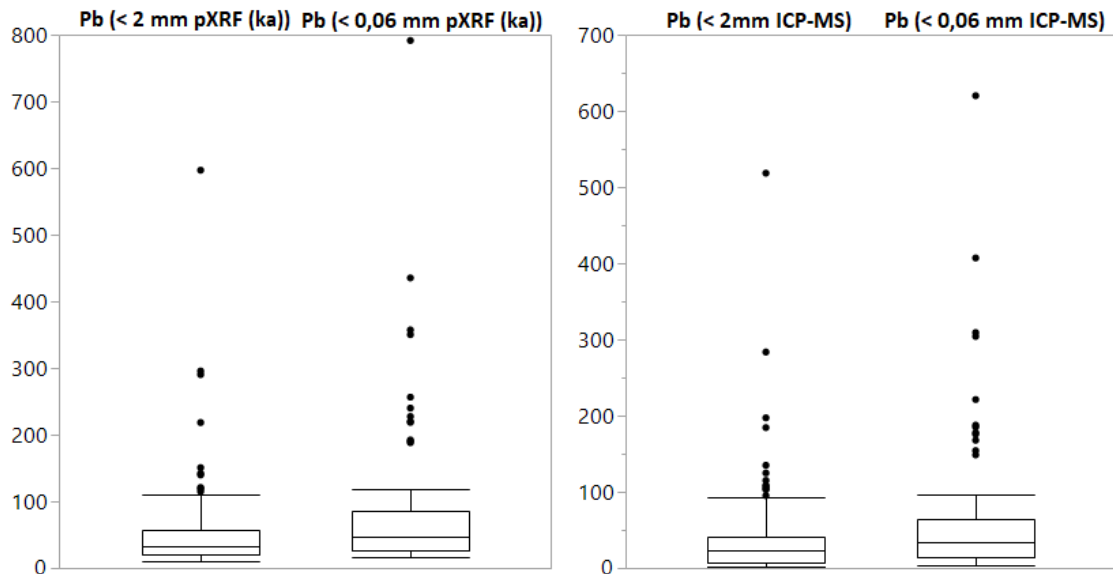


**Kuva 31.** Puisto- ja saarinäytteiden kuparipitoisuuden jakauma eri raekoossa. Yksikkönä ppm. pXRF(ka):sta on poistettu < 2 mm:n raekoosta 10 näytettä, jotka ovat jääneet alle määrittäysrajan ja hienoaineksista on puolestaan poistettu 6 näytettä.

Lyijypitoisuudet ovat pääasiassa hienoaineksessa korkeammat, kuin < 2 mm:n raekoossa (Kuva 32). Lyijyn mediaanipitoisuus pXRF(ka):ssa on < 2 mm:n raekoossa 32,9 ppm ja hienoaineksessa 47,7 ppm, kun puolestaan ICP-MS:ssä mediaani on < 2 mm:n raekoossa 23 ppm ja hienoaineksessa 34 ppm (Kuva 33). Kummassakin menetelmässä mediaanipitoisuus on korkeampi hienoaineksessa, kuin < 2 mm:n raekoossa, sekä lyijypitoisuuden jakauma on laajempi hienoaineksessa (Kuva 33). Kuvaajien selityskertoimen  $R^2$  on pXRF:ssä 0,90 ja ICP-MS:ssä 0,88, eli hienoaainesarvojen vaihtelut voidaan hyvin selittää < 2 mm:n arvoilla (Kuva 32). Korrelaatio on myös todella hyvä, eli pXRF(ka):ssa 0,95 ja ICP-MS:ssä 0,94 (Kuva 32).

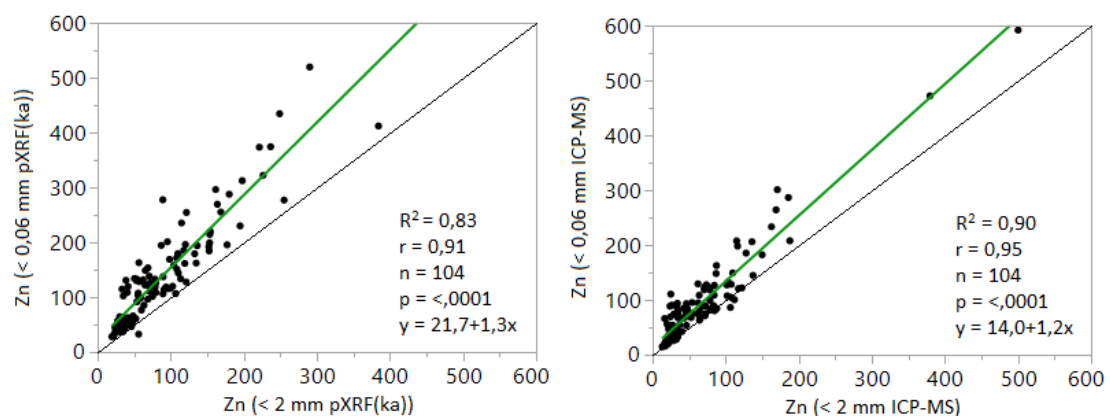


**Kuva 32.** Lyijypitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.

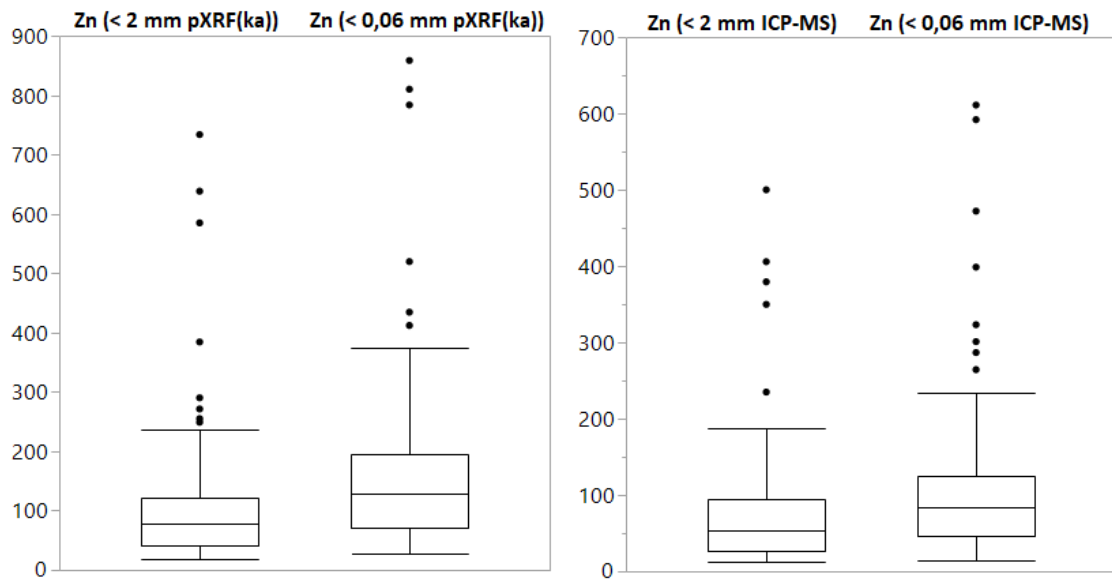


**Kuva 33.** Puisto- ja saarinäytteiden lyijypitoisuuden jakauma eri raekoissa. Yksikkönä ppm.

Sinkkipitoisuudet ovat pääasiassa hienoaineksessa korkeammat, kuin  $< 2$  mm:n raekoissa (Kuva 34). Sinkin mediaanipitoisuus pXRF(ka):ssä on  $< 2$  mm:n raekoissa 78,7 ppm ja hienoaineksessa 128,4 ppm, kun puolestaan ICP-MS:ssä mediaani on  $< 2$  mm:n raekoissa 54,2 ppm ja hienoaineksessa 84,8 ppm (Kuva 35). Kummassakin menetelmässä mediaanipitoisuus on siis korkeampi hienoaineksessa, kuin  $< 2$  mm:n raekoissa. pXRF(ka)-menetelmässä sinkkipitoisuuden jakauma on hienoaineksessa laajempi, kuin  $< 2$  mm:n raekoissa, mutta ICP-MS-menetelmässä jakauma on lähes samanlainen kahdessa eri raekoissa (Kuva 35). Selityskerroin  $R^2$  on pXRF:ssä 0,83 ja ICP-MS:ssä 0,90, eli 83 % ja 90 % hienoaainesarvojen vaihtelu voidaan selittää  $< 2$  mm:n arvoilla (kuva 34). Korrelaatiot ovat myös todella hyviä, eli pXRF(ka):ssa 0,91 ja ICP-MS:ssä 0,95 (Kuva 34).

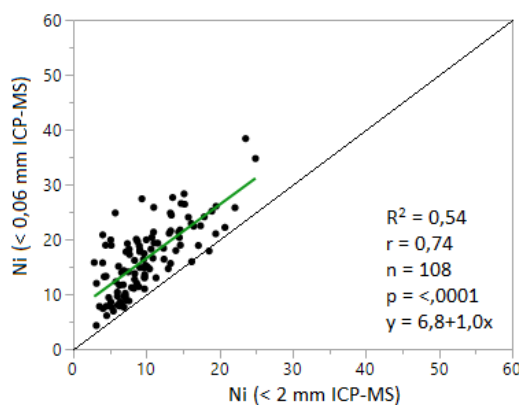


**Kuva 34.** Sinkkipitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.

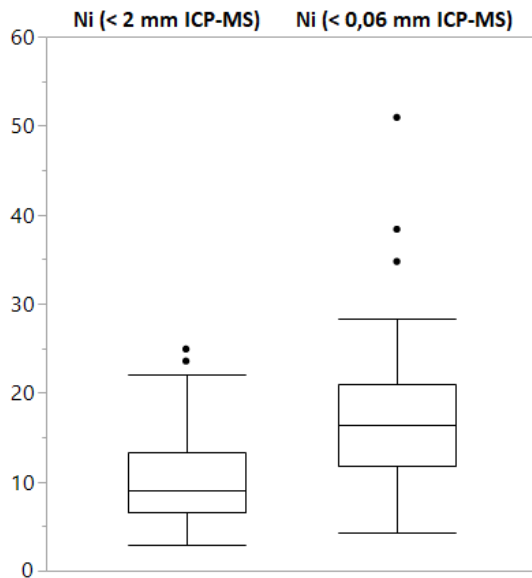


**Kuva 35.** Puisto- ja saarinäytteiden sinkkipitoisuuden jakauma eri raekoissa. Yksikkönä ppm.

Nikkelipitoisuudet ovat hienoaineksessa korkeammat, kuin < 2 mm:n raekoissa (Kuva 36). Nikkelin mediaanipitoisuus ICP-MS:ssä on < 2 mm:n raekoissa 9,1 ppm ja hienoaineksessa 16,3 ppm, eli mediaani on korkeampi hienoaineksessa (Kuva 37). Nikkelipitoisuuden jakauma on hienoaineksessa laajempi, kuin < 2 mm:n raekoissa (Kuva 37). Selityskerroin  $R^2$  on 0,54, eli 54 % hienoainesarvojen vaihtelusta voidaan selittää < 2 mm:n arvoilla, sekä korrelaatio on 0,74, eli tulokset korreloivat kohtalaisesti keskenään (Kuva 36).

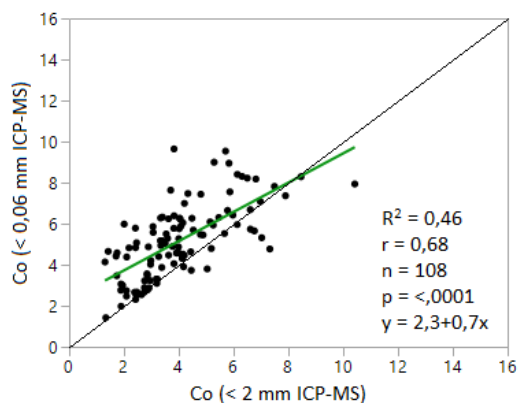


**Kuva 36.** Nikkelipitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.

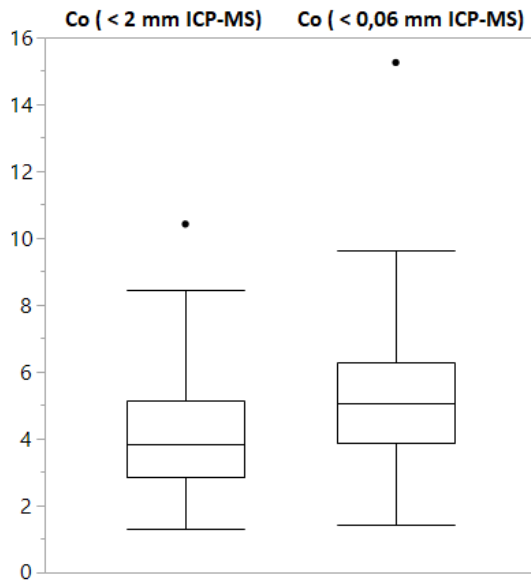


**Kuva 37.** Puisto- ja saarinäytteiden nikkelpitoisuuden jakauma eri raekoossa. Yksikkönä ppm.

Kobolttipitoisuudet ovat pääasiassa hienoaineksessa korkeammat, kuin  $< 2 \text{ mm:n}$  raekoossa (Kuva 38). Koboltin mediaanipitoisuus ICP-MS:ssä on  $< 2 \text{ mm:n}$  raekoossa 3,8 ppm ja hienoaineksessa 5,1 ppm, eli mediaani on korkeampi hienoaineksessa (Kuva 39). Kobolttipitoisuuden jakauma on kummassakin raekoossa samanlainen (Kuva 39.). Selityskerroin  $R^2$  on 0,46, eli vain 46 % hienoainesarvojen vaihtelusta on selitettävissä  $< 2 \text{ mm:n}$  arvoilla (Kuva 38). Korrelaatio on 0,68, eli kahden eri raekoon tulokset korreloivat kohtalaisesti (Kuva 38).

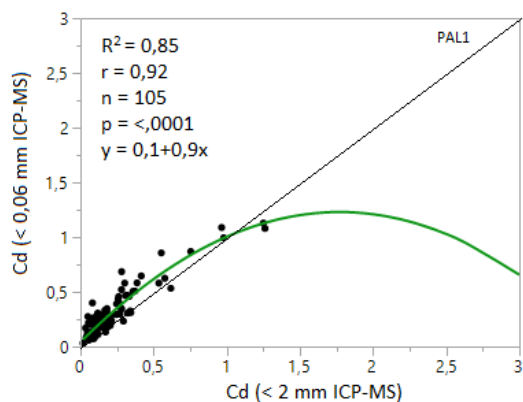


**Kuva 38.** Kobolttipitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.

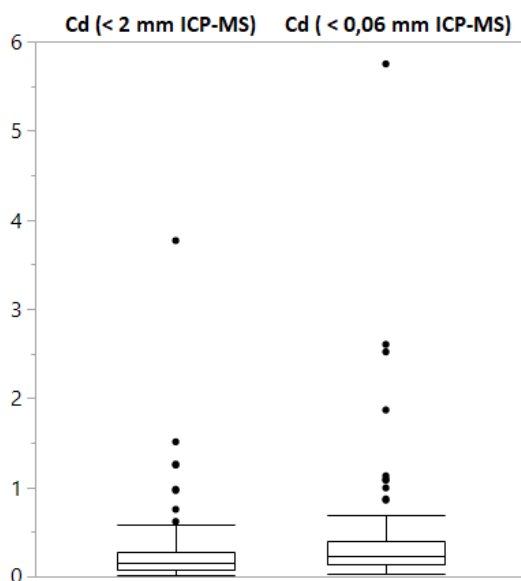


**Kuva 39.** Puisto- ja saarinäytteiden kobolttipitoisuuden jakauma eri raekoossa. Yksikkönä ppm.

Kadmiumpitoisuudet ovat hienoaineksessa korkeammat, kuin < 2 mm:n raekoossa (Kuva 40). Kadmiumin mediaanipitoisuus ICP-MS:ssä on < 2 mm:n raekoossa 0,16 ppm ja hienoaineksessa 0,24 ppm, eli mediaanipitoisuus on korkeampi hienoaineksessa (Kuva 41). Kadmiumpitoisuuden jakauma on laajempi hienoaineksessa, kuin < 2 mm:n raekoossa (Kuva 41). Selityskerroin  $R^2$  on 0,85, eli 85 % hienoainesarvojen vaihtelusta voidaan selittää < 2 mm arvojen vaihtelulla (Kuva 40). Korrelaatio on 0,92, eli kahden eri raekoon tulokset korreloivat hyvin keskenään (Kuva 40).



**Kuva 40.** Kadmiumpitoisuuksien jakautuminen kahden eri raekoon välillä. Yksikkönä ppm.



**Kuva 41.** Puisto- ja saarinäytteiden kadmiumpitoisuuden jakauma eri raekoossa. Yksikkönä ppm.

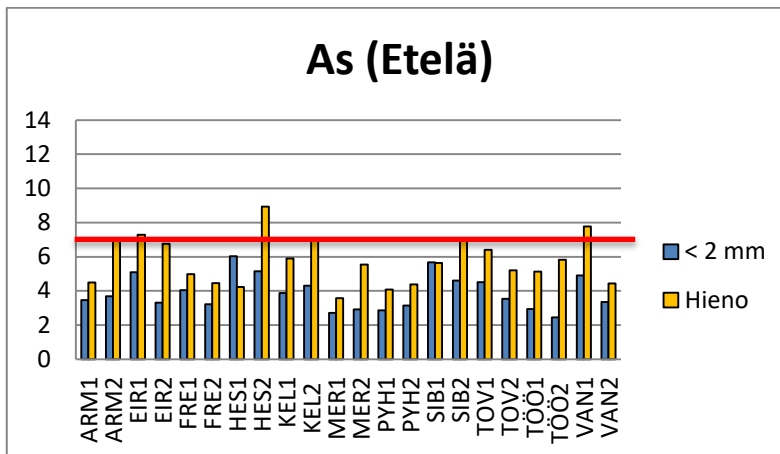
#### 5.4 Puisto-, saari- ja uimarantanäytteiden metallipitoisuudet

Helsingin puistojen, saarien ja uimarantojen maaperänäytteiden metallipitoisuudet on esitetty alkuaineittain ja suurpiireittäin kuvissa 42A-51F. Metallien taustapitoisuus, kynnys- ja ohjearvot näkyy taulukosta 13, sekä puistojen nimet ja näytetunnukset löytyvät taulukosta 1. Puisto- ja saarinäytteissä analyysimenetelmänä on käytetty ICP-MS:ää, kun puolestaan uimarantanäytteet on analysoitu pXRF:llä. ICP-MS- ja pXRF-tulokset löytyvät myös liitteistä 2-3.

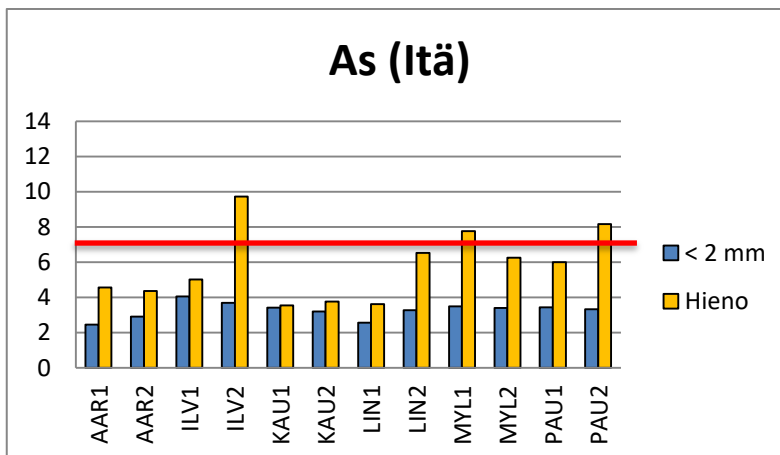
**Taulukko 13.** Metallien kynnys- ja ohjearvot, sekä taustapitoisuus. Arseenin, lyijyn ja sinkin taustapitoisuus korvaa kynnysarvon Helsingin puistojen maaperän orgaanisessa kerroksessa (Tarvainen et al. 2013).

Aine	Kynnysarvo	Taustapitoisuus	Alempi ohjearvo	Ylempi ohjearvo
As	5	<b>7,2</b>	50	100
Cd	1	0,5	10	20
Co	20	9,2	100	250
Cr	100	59,5	200	300
Cu	100	92	150	200
Pb	60	<b>160</b>	200	750
Ni	50	21	100	150
Zn	200	<b>219</b>	250	400
V	100	60	150	250

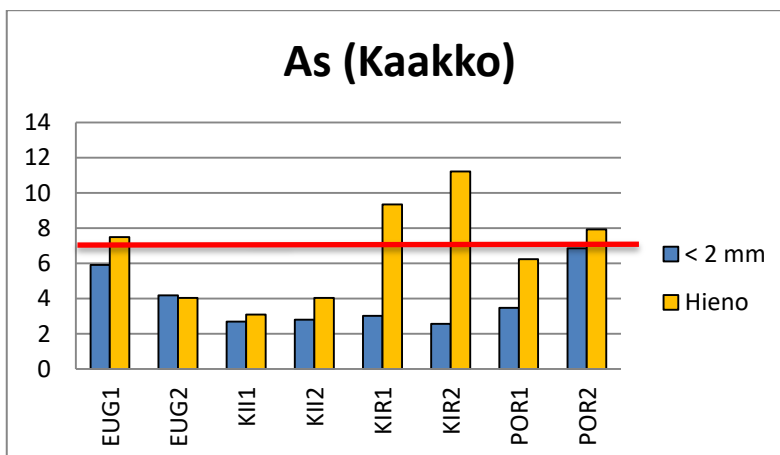
### 5.4.1 Arseeni



**Kuva 42A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (7 ppm).

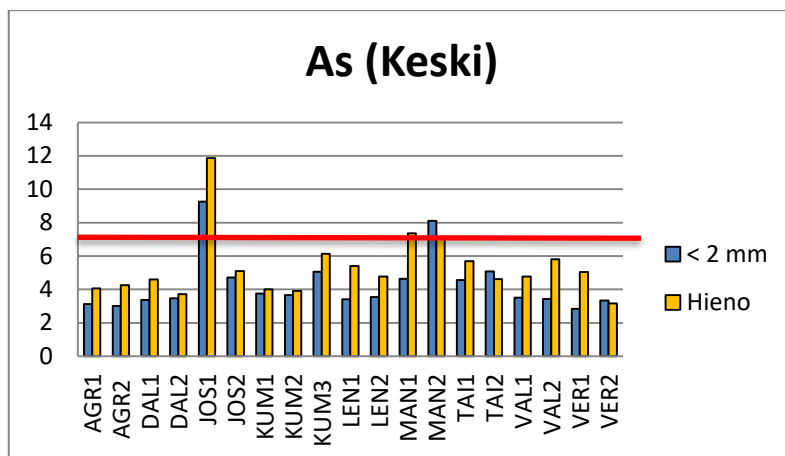


**Kuva 42B.** Itä-Helsingin puistonäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (7 ppm).

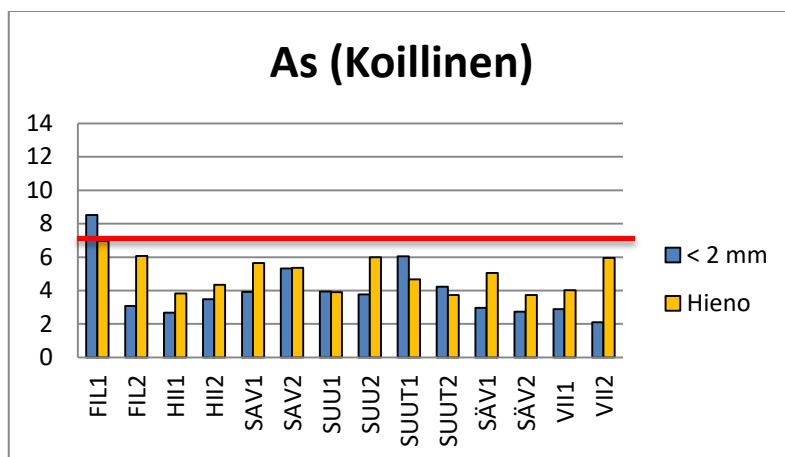


**Kuva 42C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (7 ppm).

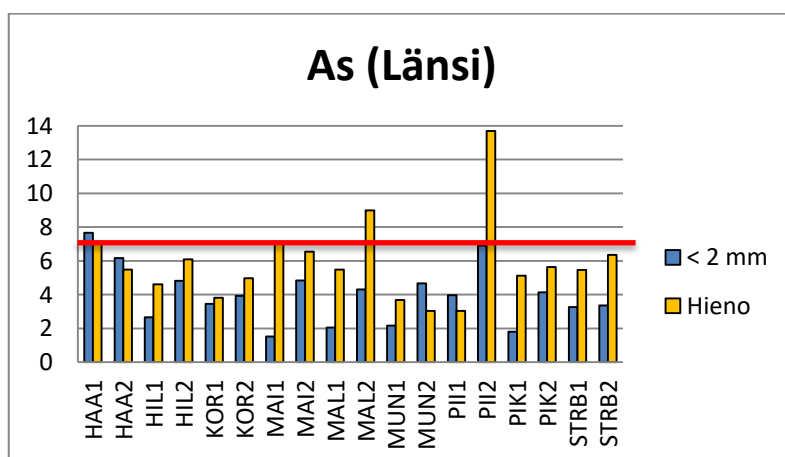




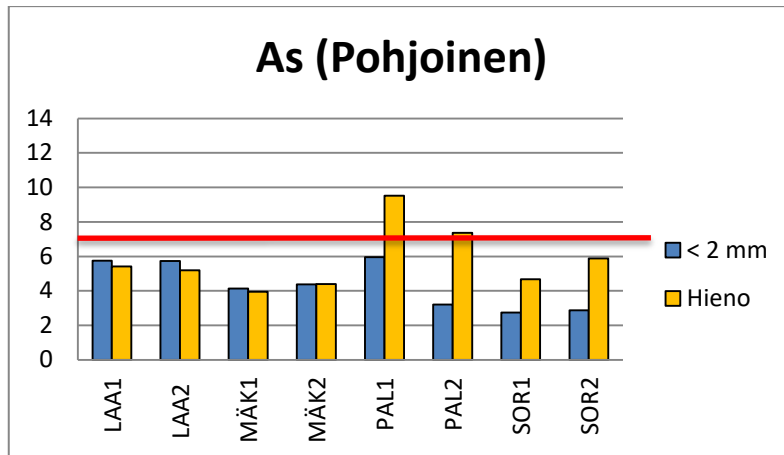
**Kuva 42D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (7 ppm).



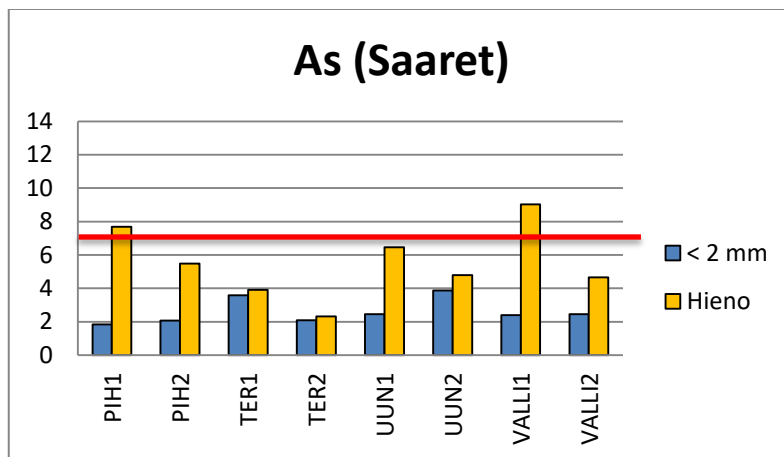
**Kuva 42E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (7 ppm).



**Kuva 42F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (7 ppm).



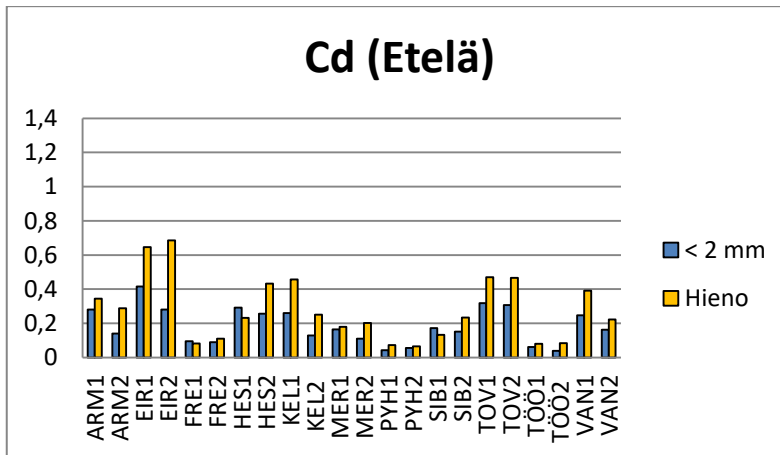
**Kuva 42G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (7 ppm).



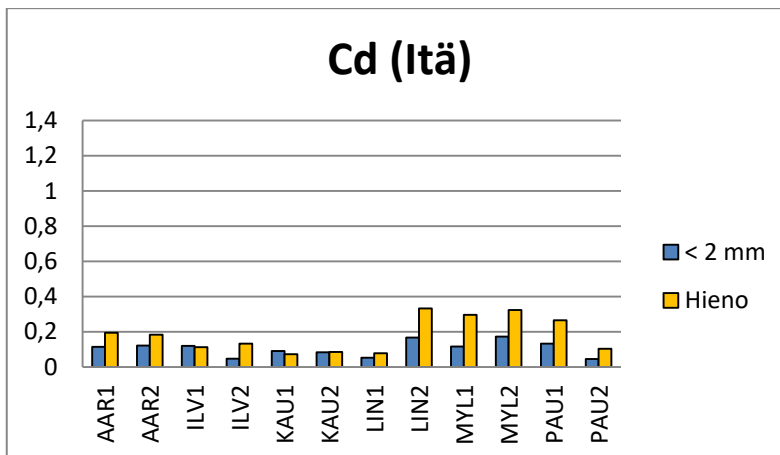
**Kuva 42H.** Helsingin edustan saarinäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (7 ppm).

Puisto- ja saarinäytteiden arseenipitoisuudet Helsingin eri suurpiireissä on esitetty kuvissa 42A-42H. Arseenipitoisuudet ovat < 2 mm:n raakoissa pääsääntöisesti 2–4 ppm:n välillä, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat korkeammat, eli 4–7 ppm. Virallisessa < 2 mm:n raakoissa 4 näytettä ylittää 7 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä JOS1 (9,3 ppm), FIL1 (8,5 ppm), MAN2 (8,1 ppm), HAA1 (7,7 ppm), PII2 (6,9 ppm) ja POR2 (6,8 ppm). Hienoaineksessa 7 näytettä ylittää 9 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä PII2 (13,7 ppm), JOS1 (11,9 ppm), KIR2 (11,2 ppm), ILV2 (9,7 ppm), PAL1 (9,5 ppm) ja KIR1 (9,3 ppm). Alhaisimmat arseenipitoisuudet ovat < 2 mm:n raakoissa näytteillä MAI1 (1,5 ppm), PIK1 (1,8 ppm), PIH1 (1,8 ppm), MAL1 (2,1 ppm), PIH2 (2,1 ppm) ja TER2 (2,1 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisimmat pitoisuudet ovat näytteillä TER2 (2,3 ppm), MUN2 (3,0 ppm), PII1 (3,0 ppm), KII1 (3,1 ppm), VER2 (3,2 ppm) ja KAU1 (3,5 ppm).

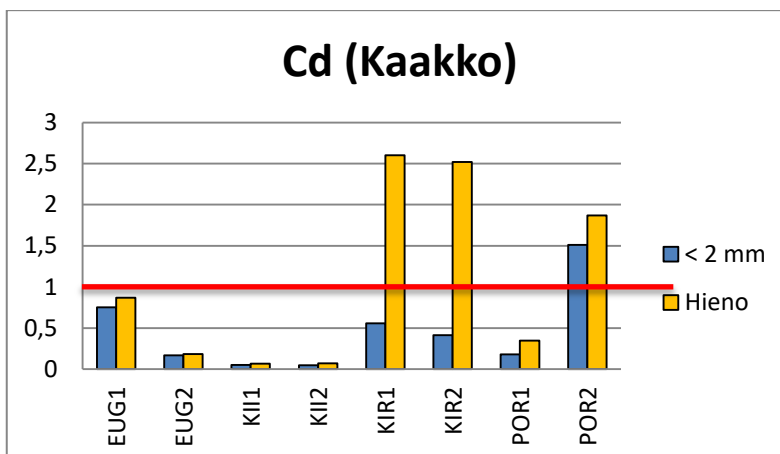
## 5.4.2 Kadmium



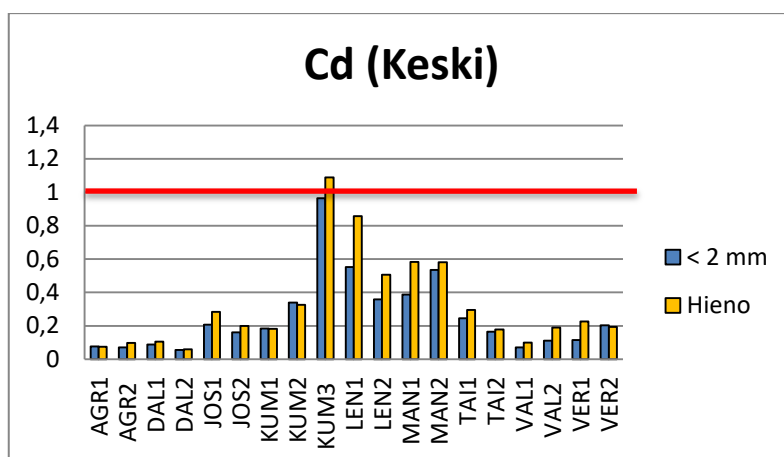
**Kuva 43A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden kadmiumpitoisuudet. Yksikkönä ppm.



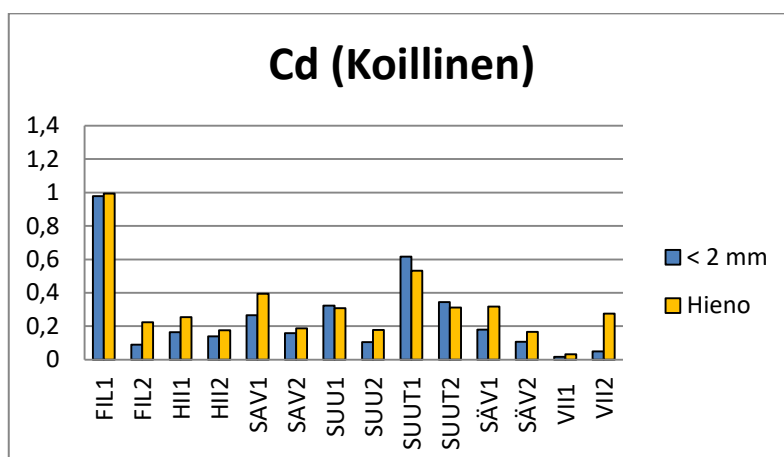
**Kuva 43B.** Itä- Helsingin puistonäytteiden kadmiumpitoisuudet. Yksikkönä ppm.



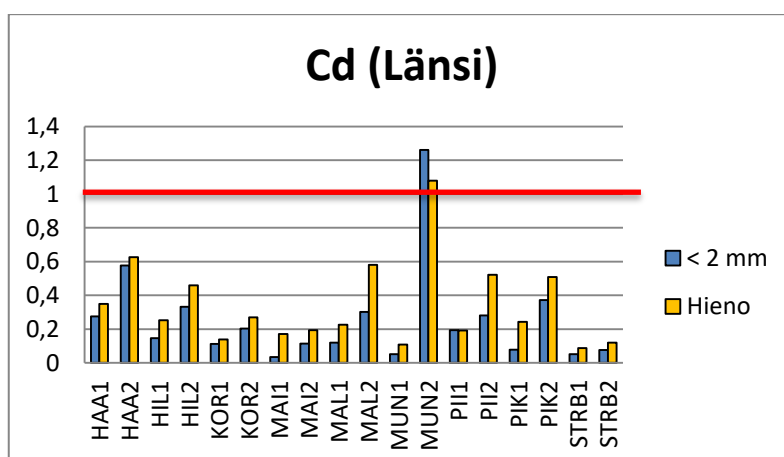
**Kuva 43C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden kadmiumpitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (1 ppm).



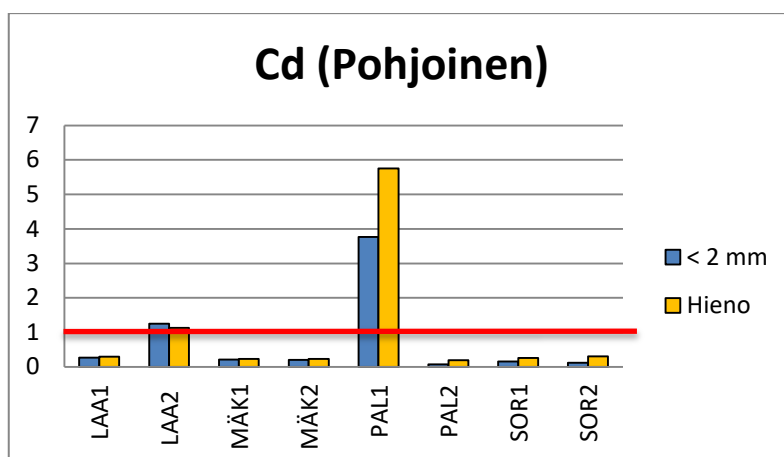
**Kuva 43D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden kadmiumpitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (1 ppm).



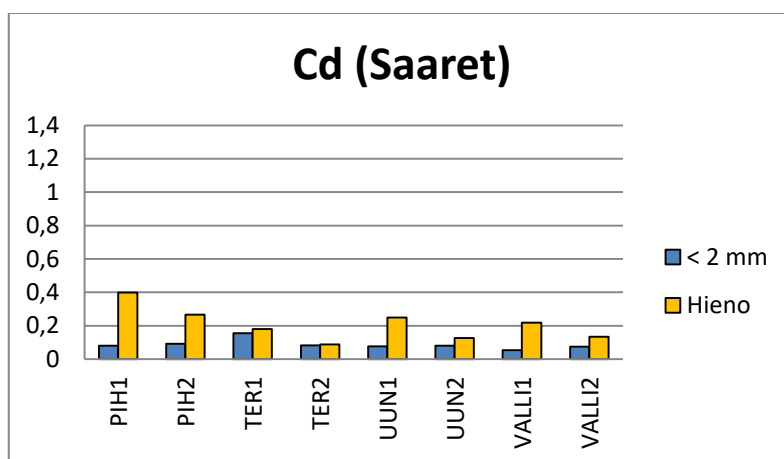
**Kuva 43E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden kadmiumpitoisuudet. Yksikkönä ppm.



**Kuva 43F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden kadmiumpitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (1 ppm).



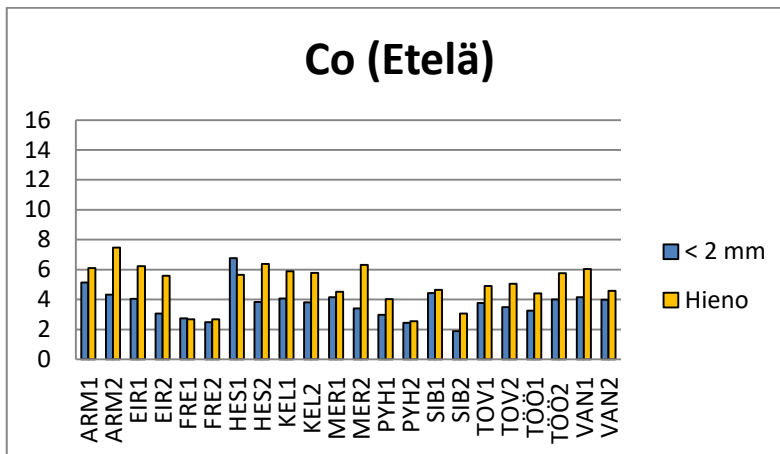
**Kuva 43G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden kadmiumpitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnyksarvoa (1 ppm).



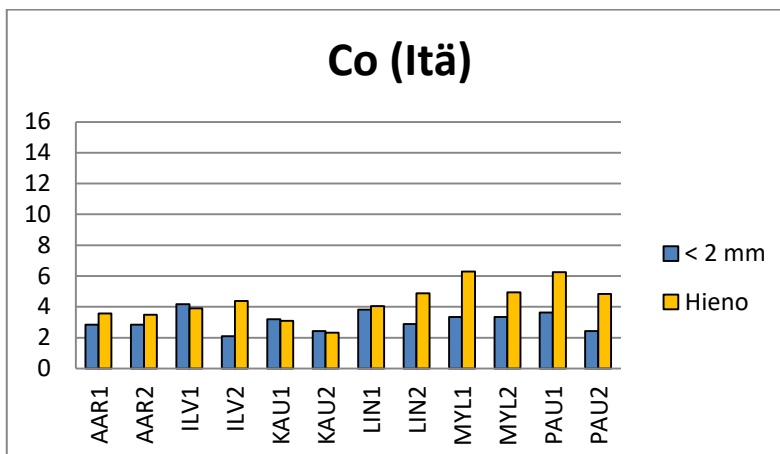
**Kuva 43H.** Helsingin edustan saarinäytteiden kadmiumpitoisuudet. Yksikkönä ppm.

Puisto- ja saarinäytteiden kadmiumpitoisuudet Helsingin eri suurpiireissä on esitetty kuvissa 43A-43H. Kadmiumpitoisuudet ovat < 2 mm:n reakoossa yleisesti 0,1–0,3 ppm:n välillä, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat 0,1–0,45 ppm. Alle < 2 mm:n raakoossa 0,8 ppm ylitetään 6 näytteessä ja korkeimmat kadmiumpitoisuudet < 2 mm:n raakoossa ovat näytteillä PAL1 (3,8 ppm), POR2 (1,5 ppm), MUN2 (1,3 ppm), LAA2 (1,3 ppm), FIL1 (1,0 ppm) ja KUM3 (1,0 ppm). Hienoaineksessa 7 näytettä ylittää 1,0 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä PAL1 (5,8 ppm), KIR1 (2,6 ppm), KIR2 (2,5 ppm), POR2 (1,9 ppm), LAA2 (1,1 ppm) ja KUM3 (1,1 ppm). Alhaisimmat kadmiumpitoisuudet ovat < 2 mm:n raakoossa näytteillä VII1 (0,02 ppm), MAI1 (0,03 ppm), TÖÖ2 (0,04 ppm), PYH1 (0,04 ppm), PAU2 (0,04 ppm) ja KII2 (0,05 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisimmat ovat näytteillä VII1 (0,03 ppm), DAL2 (0,06 ppm), KII1 (0,06 ppm), PYH2 (0,07 ppm), KII2 (0,07 ppm) ja PYH1 (0,07 ppm).

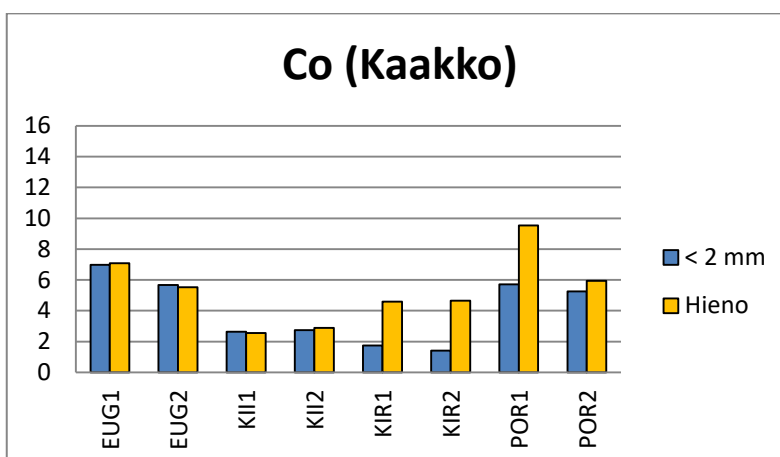
## 5.4.3 Koboltti



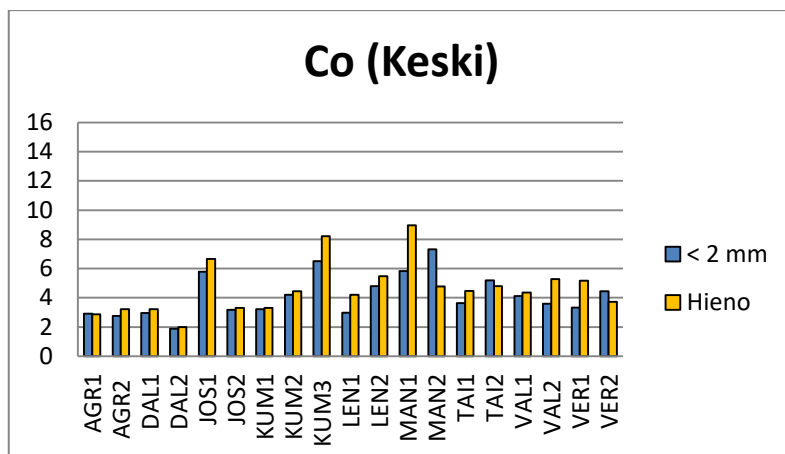
**Kuva 44A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden kobolttipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



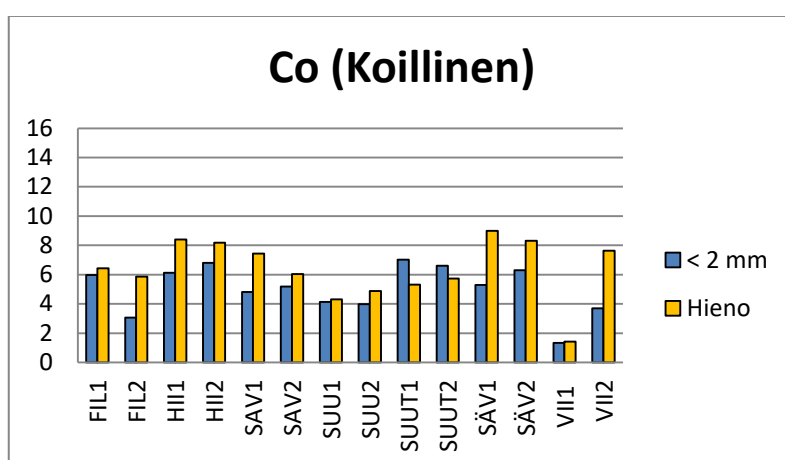
**Kuva 44B.** Itä-Helsingin puistonäytteiden kobolttipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



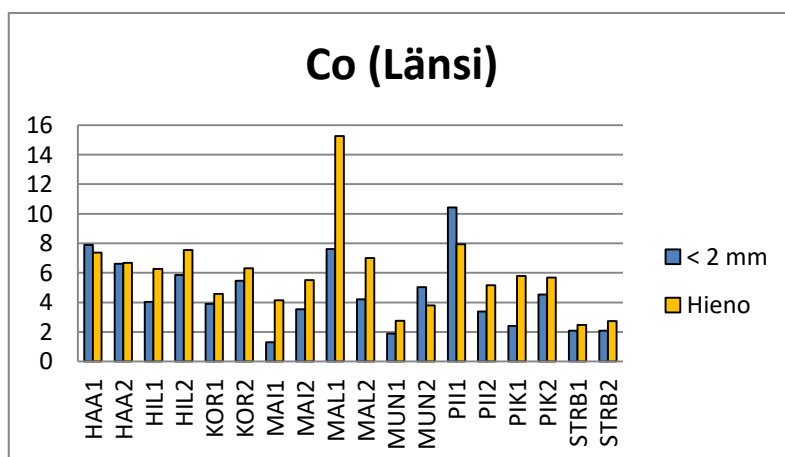
**Kuva 44C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden kobolttipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



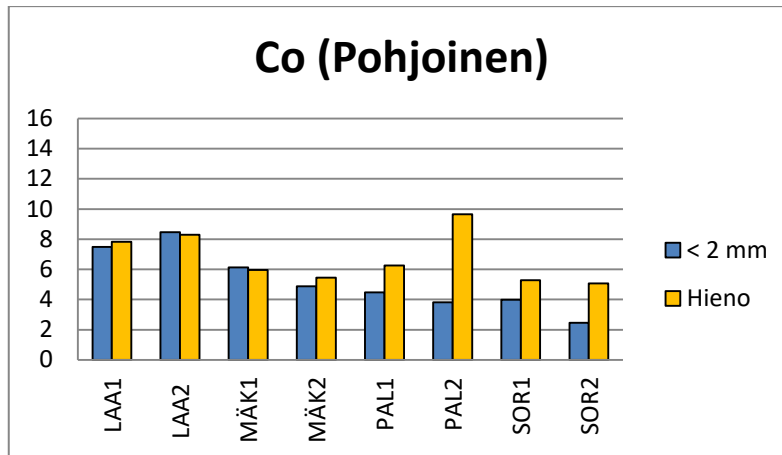
**Kuva 44D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden kobolttipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



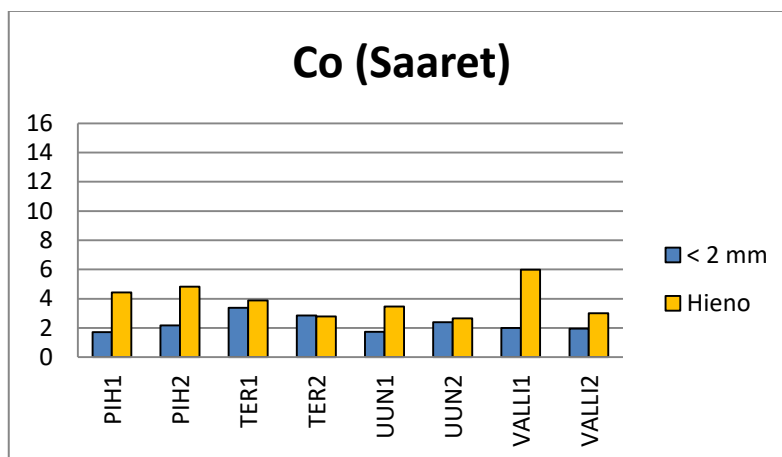
**Kuva 44E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden kobolttipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



**Kuva 44F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden kobolttipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



**Kuva 44G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden kobolttipitoisuudet. Yksikkönä ppm.

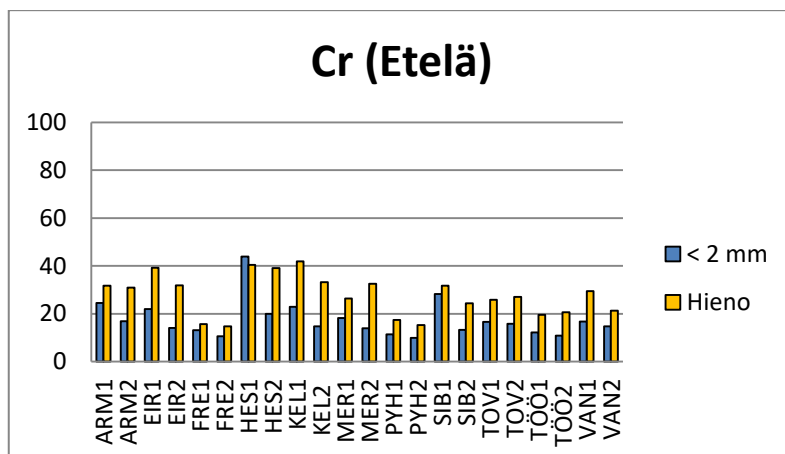


**Kuva 44H.** Helsingin edustan saarinäytteiden koboltti pitoisuudet. Yksikkönä ppm.

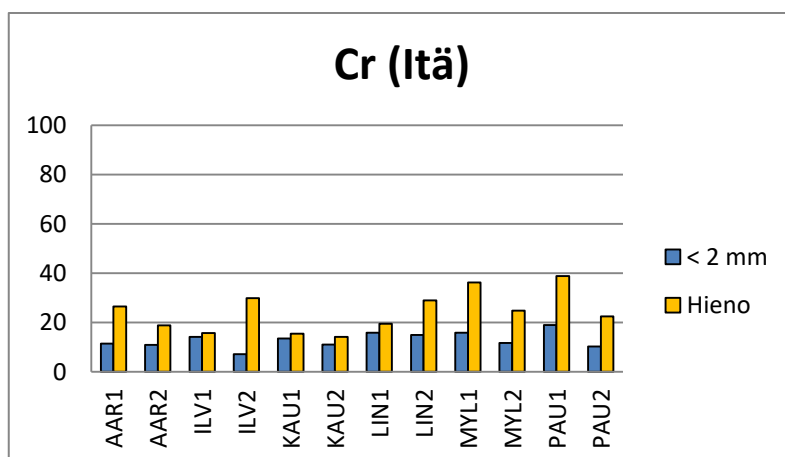
Puisto- ja Helsingin edustan saarinäytteiden kobolttipitoisuudet näkyy kuvista 44A-44H. Alle 2 mm:n reakoossa kobolttipitoisuudet ovat pääsääntöisesti 2,5–5 ppm:n välillä ja hienoaineksessa pitoisuudet ovat puolestaan korkeammat, eli 3,5–6 ppm. Alle 2 mm:n raakoossa 7 näytettä ylittää 7 ppm:n ja korkeimmat kobolttipitoisuudet ovat näytteillä PII1 (10,4 ppm), LAA2 (8,5 ppm), HAA1 (7,9 ppm), MAL1 (7,6 ppm), LAA1 (7,5 ppm) ja MAN2 (7,3 ppm). Hienoaineksessa 5 näytettä ylittää 8,5 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä MAL1 (15,3 ppm), PAL2 (9,6 ppm), POR1 (9,5 ppm), SÄV1 (9,0 ppm), MAN1 (9,0 ppm), HII1 (8,4 ppm). Alhaisimmat kobolttipitoisuudet ovat < 2 mm:n raakoossa näytteillä MAI1 (1,3 ppm), VII1 (1,3 ppm), KIR2 (1,4 ppm), PIH1 (1,7 ppm), UUN1 (1,7 ppm) ja KIR1 (1,7 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisimmat ovat näytteillä VII1 (1,4 ppm), DAL2 (2,0 ppm), KAU2 (2,3 ppm), STRB1 (2,5 ppm), KII1 (2,5 ppm) ja PYH2 (2,5 ppm).



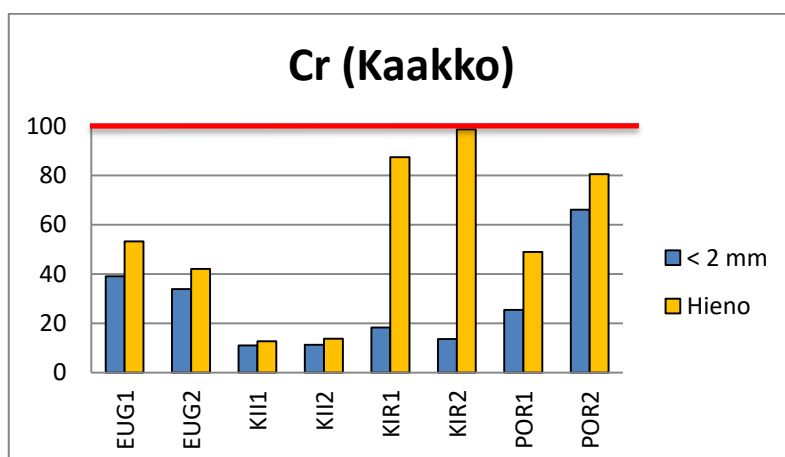
## 5.4.4 Kromi



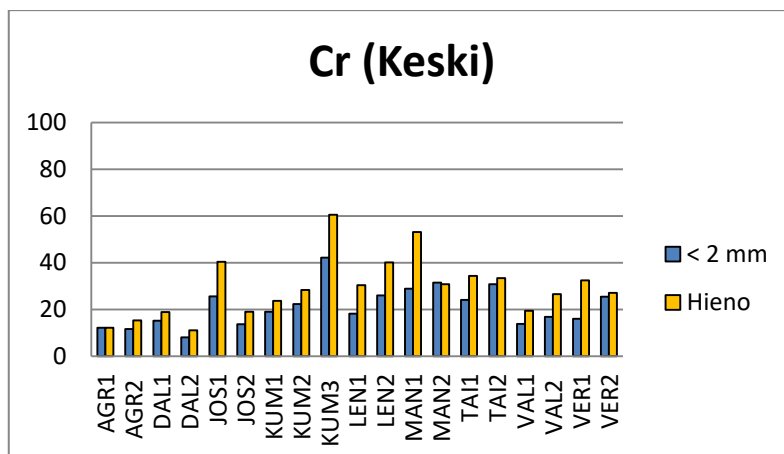
**Kuva 45A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



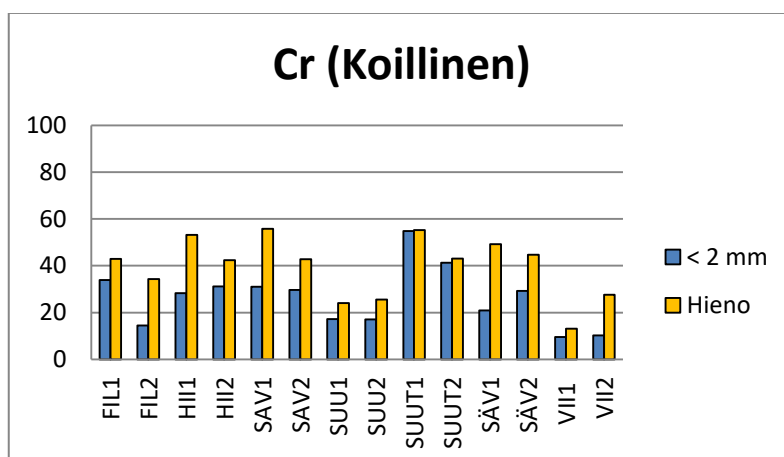
**Kuva 45B.** Itä-Helsingin puistonäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



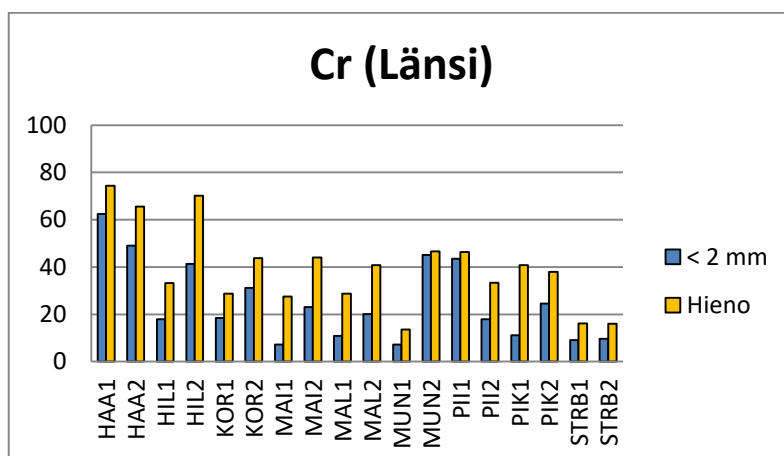
**Kuva 45C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (100 ppm).



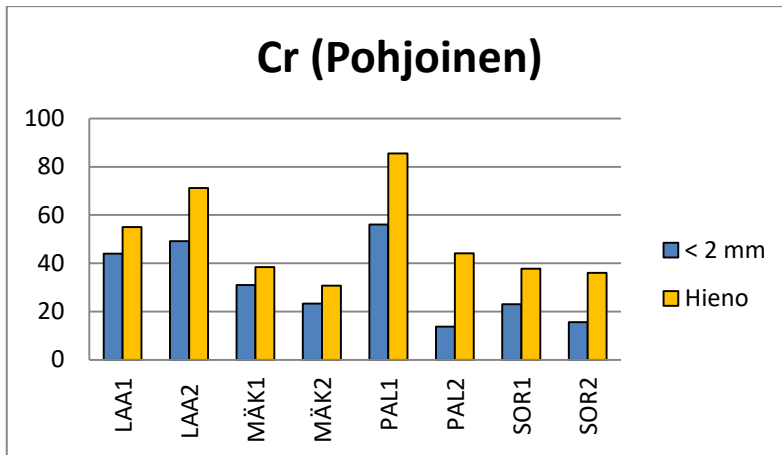
**Kuva 45D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



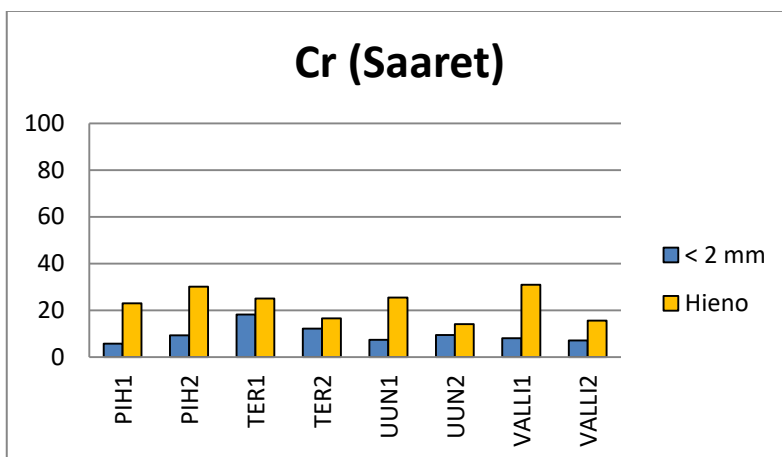
**Kuva 45E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



**Kuva 45F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm



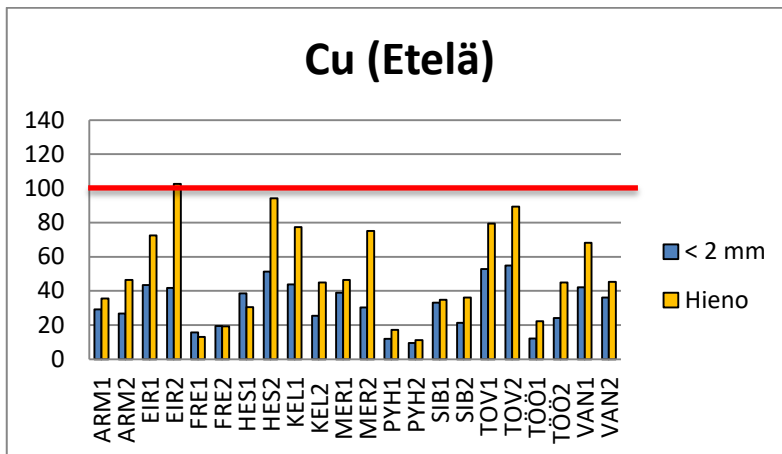
**Kuva 45G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



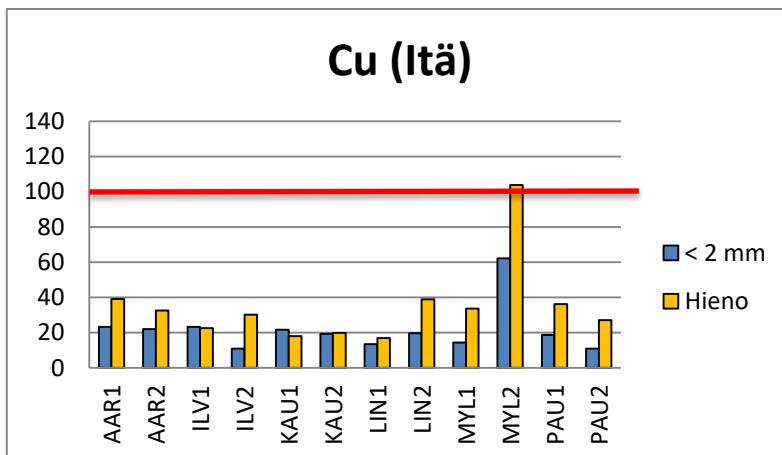
**Kuva 45H.** Helsingin edustan saarinäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm.

Puisto- ja saarinäytteiden kromipitoisuudet Helsingin eri suurpiireissä näkyy kuvista 45A-45H. Kromipitoisuudet ovat alle 2 mm:n raakoissa yleisesti 10–35 ppm:n välissä, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat 15–45 ppm. Alle 2 mm:n raakoissa 7 näytettä ylittää 45 ppm:n ja korkeimmat kromipitoisuudet ovat näytteillä POR2 (66,1 ppm), HAA1 (62,5 ppm), PAL1 (56,1 ppm), SUUT1 (54,8 ppm), LAA2 (49,2 ppm) ja HAA2 (49,1 ppm). Hienoaineksessa 7 näytettä ylittää 70 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä KIR2 (98,7 ppm), KIR11 (87,3 ppm), PAL1 (85,4 ppm), POR2 (80,5 ppm), HAA1 (74,3 ppm) ja LAA2 (71,2 ppm). Alhaisimmat kromipitoisuudet ovat < 2 mm:n raakoissa näytteillä PIH1 (5,8 ppm), ILV2 (7,1 ppm), VALLI2 (7,1 ppm), MUN1 (7,2 ppm), MAI1 (7,3 ppm) ja UUN1 (7,4 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisimmat ovat näytteillä DAL2 (11,0 ppm), AGR1 (12,2 ppm), KII1 (12,8 ppm), VII1 (13,1 ppm), MUN1 (13,6 ppm) ja KII2 (13,7 ppm).

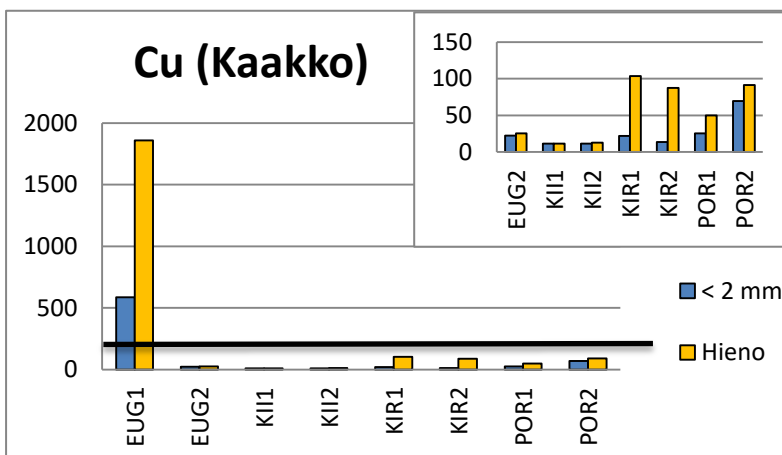
## 5.4.5 Kupari



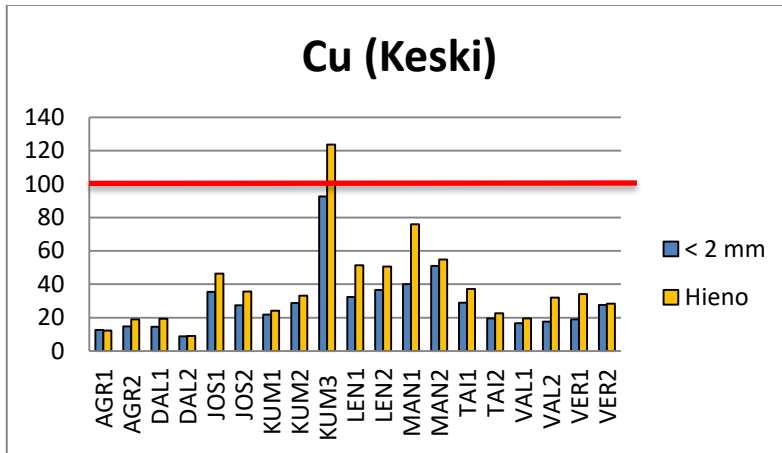
**Kuvissa 46A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden kuparipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnsarvoa (100 ppm).



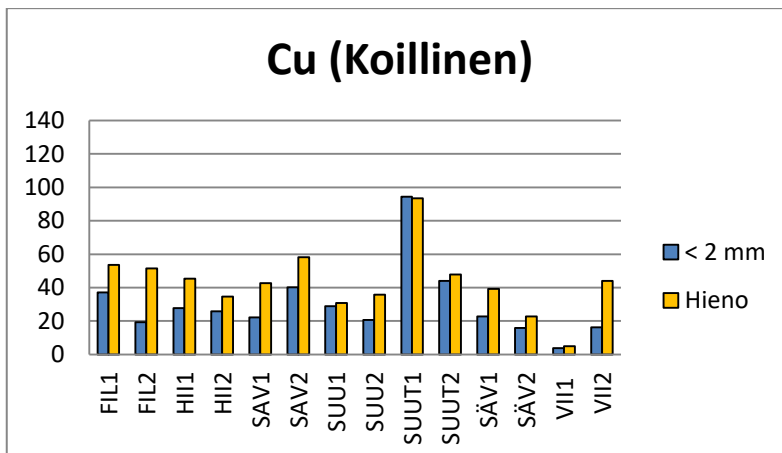
**Kuvissa 46B.** Itä-Helsingin puistonäytteiden kuparipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnsarvoa (100 ppm).



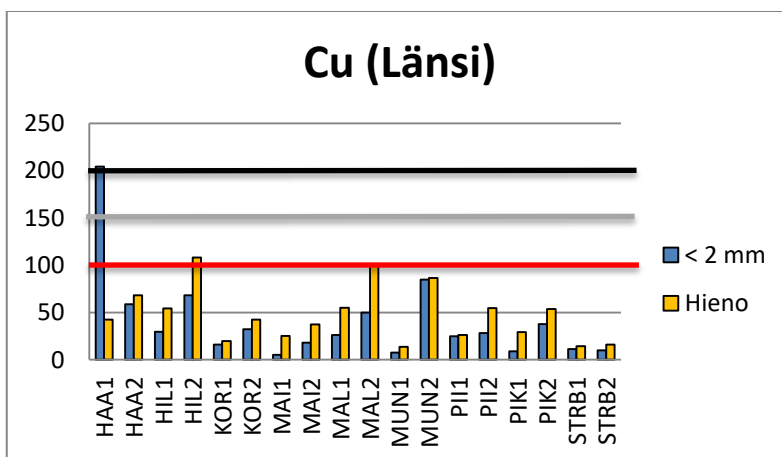
**Kuvissa 46C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden kuparipitoisuudet. Musta viiva kuvaa ylempää ohjearvoa (200 ppm). Oikeassa kulmassa kuparipitoisuudet ilman EUG1 näytettä.



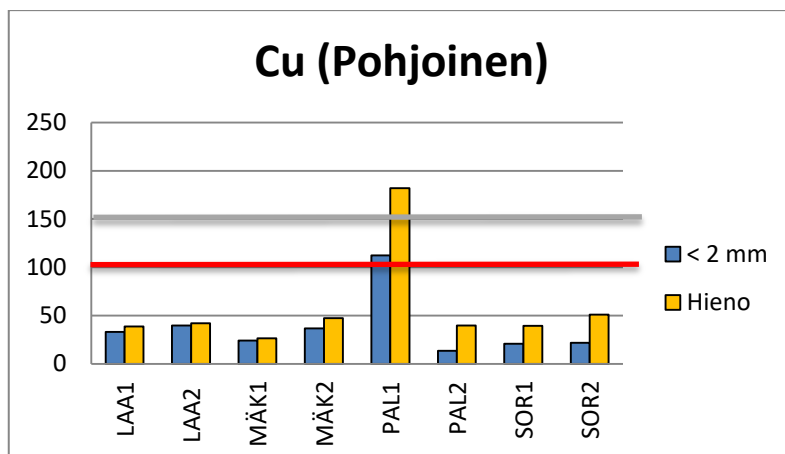
**Kuvissa 46D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden kuparipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (100 ppm).



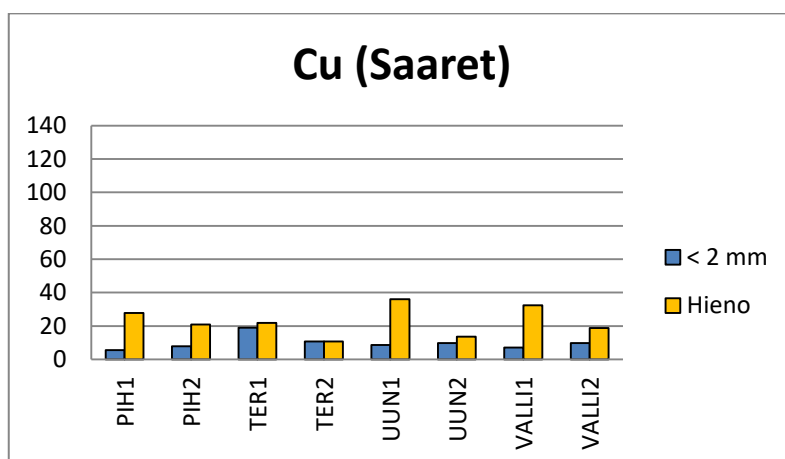
**Kuvissa 46E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden kuparipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



**Kuvissa 46F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden kuparipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (100 ppm). Harmaa viiva tarkoittaa alemmaa ohjearvoa (150 ppm), kun puolestaan musta ylemmää ohjearvoa (200 ppm).



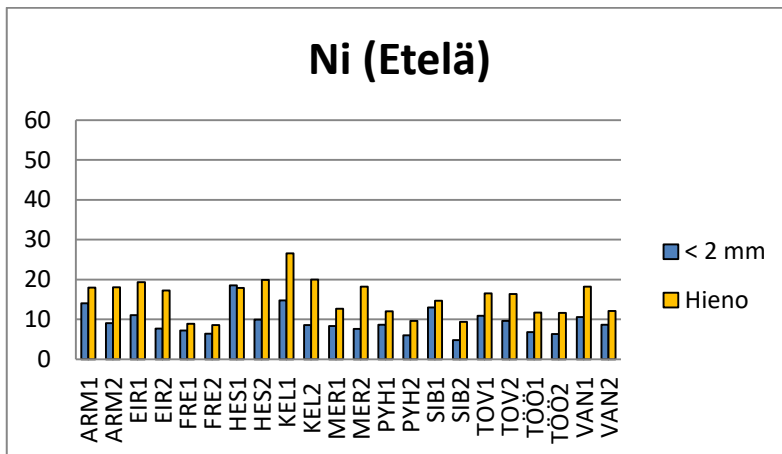
**Kuvissa 46G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden kuparipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (100 ppm). Harmaalla viivalla tarkoitetaan alemmaa ohjearvoa (150 ppm).



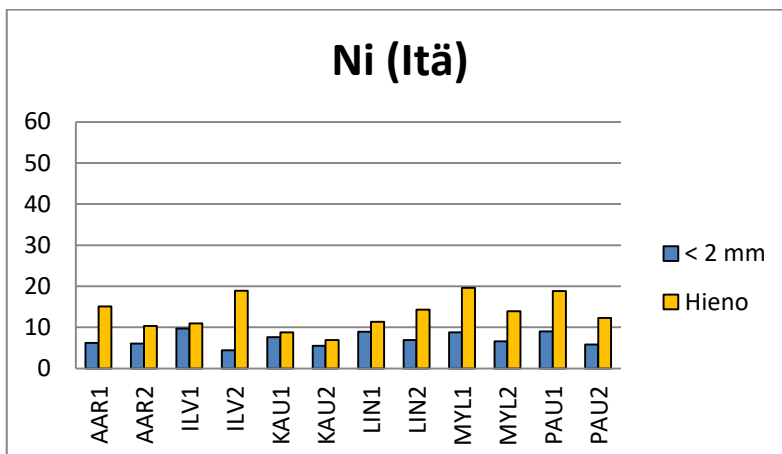
**Kuvissa 46H.** Helsingin edustan saarinäytteiden kuparipitoisuudet. Yksikkönä ppm.

Puisto- ja saarinäytteiden kuparipitoisuudet on esitetty kuvissa 46A-46H. Kuparipitoisuudet ovat < 2 mm:n reakoossa pääsääntöisesti 15–40 ppm:n välillä ja hienoaineksessa pitoisuudet ovat puolestaan 20–55 ppm. Alle 2 mm:n raekoossa 6 näytettä ylittää 70 ppm:n ja korkeimmat kuparipitoisuudet ovat näytteillä EUG1 (587,6 ppm), HAA1 (204,2 ppm), PAL1 (112,2 ppm), SUUT1 (94,3 ppm), KUM3 (92,5 ppm) ja MUN2 (84,7 ppm). Hienoaineksessa 8 näytettä ylittää 100 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä EUG1 (1859,3 ppm), PAL1 (181,8 ppm), KUM3 (123,7 ppm), HIL2 (107,9 ppm), MYL2 (103,8 ppm) ja KIR1 (103,6 ppm). Alhaisimmat kuparipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä VII1 (3,8 ppm), MAI1 (5,0 ppm), PIH1 (5,7 ppm), VALLI1 (7,1 ppm), MUN1 (7,5 ppm) ja PIH2 (7,9 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisimmat pitoisuudet ovat näytteillä VII1 (4,9 ppm), DAL2 (8,9 ppm), TER2 (10,8 ppm), PYH2 (11,2 ppm), KII1 (11,3 ppm) ja AGR1 (12,3 ppm).

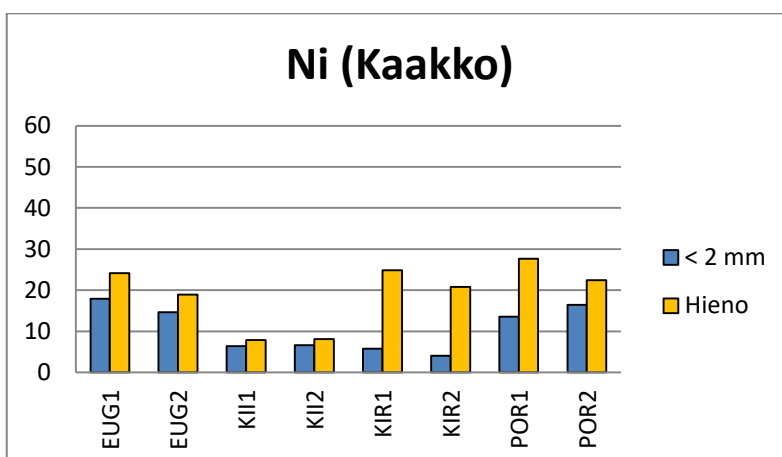
## 5.4.6 Nikkeli



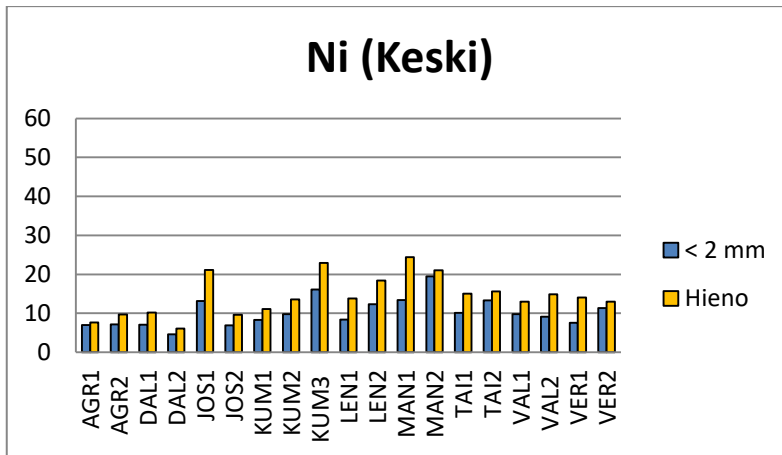
**Kuva 47A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden nikkelipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



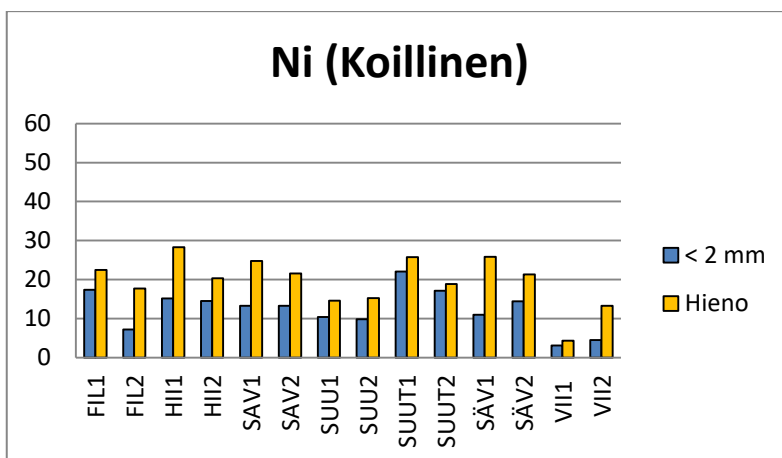
**Kuva 47B.** Itä-Helsingin puistonäytteiden nikkelipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



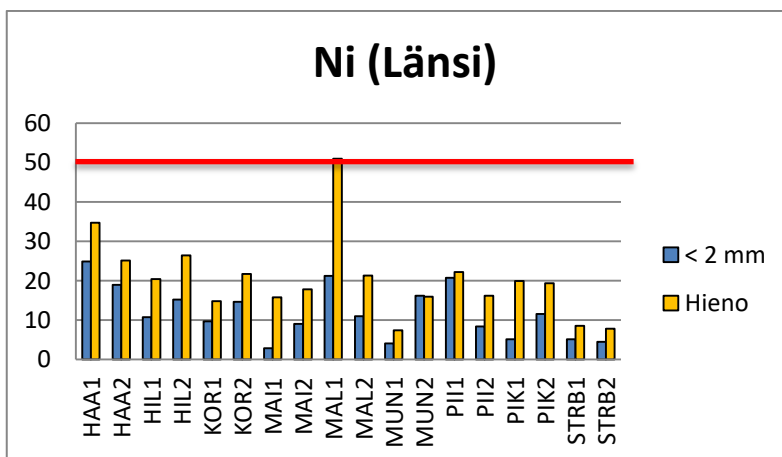
**Kuva 47C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden nikkelipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



**Kuva 47D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden nikkelpitoisuudet. Yksikkönä ppm.

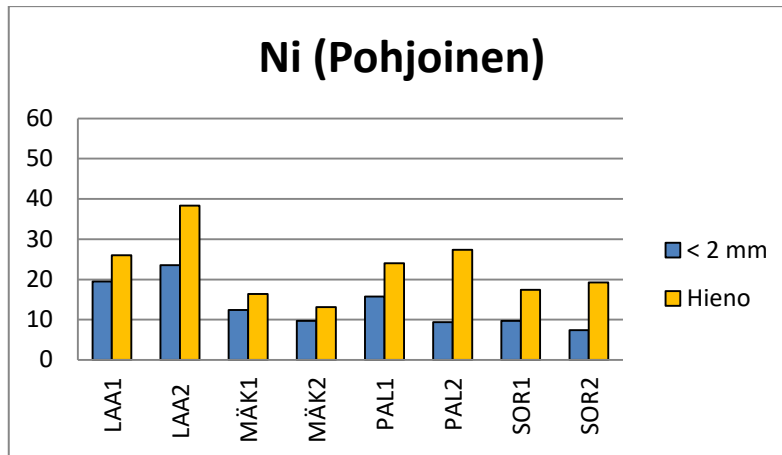


**Kuva 47E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden nikkelpitoisuudet. Yksikkönä ppm.

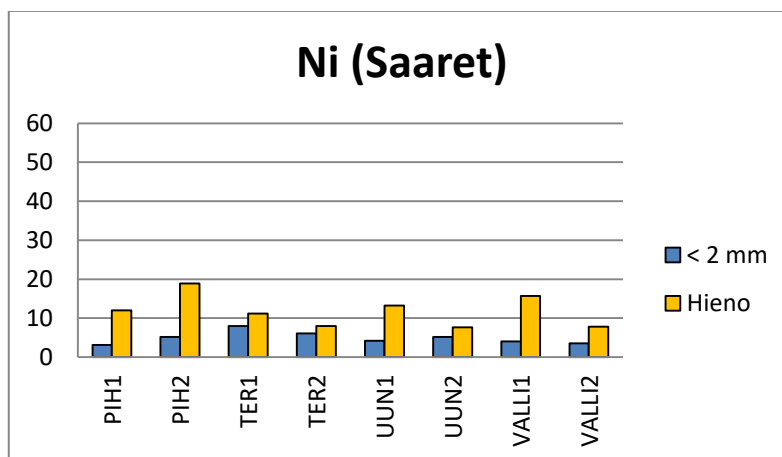


**Kuva 47F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden nikkelpitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (50 ppm).





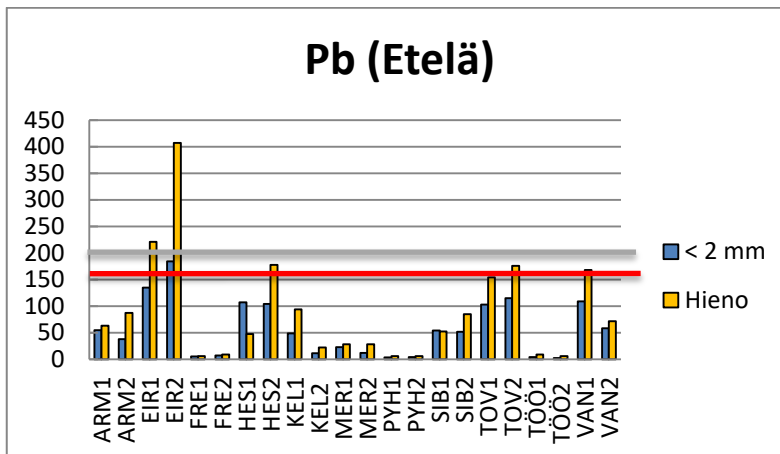
**Kuva 47G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden nikkelipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



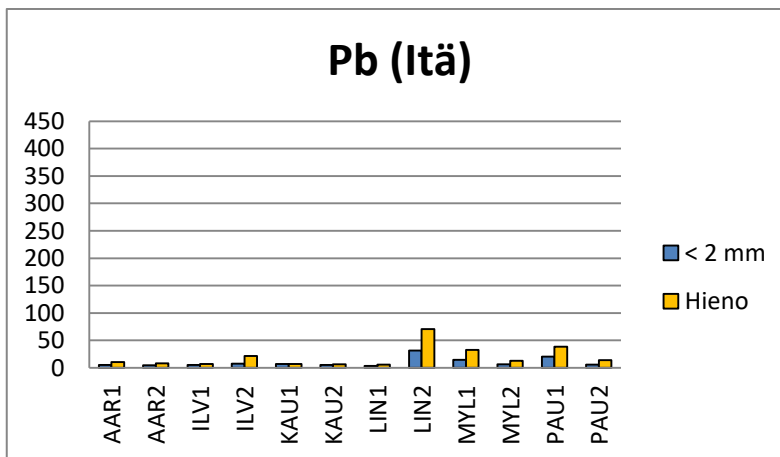
**Kuva 47H.** Helsingin edustan saarinäytteiden nikkelipitoisuudet. Yksikkönä ppm.

Saari- ja puistonäytteiden nikkelipitoisuudet Helsingin eri suurpiireissä näkyy kuvissa 47A-47H. Nikkelipitoisuudet ovat < 2 mm:n reakoossa pääasiassa 5–15 ppm:n välillä ja hienoaineksessa pitoisuudet ovat puolestaan korkeammat, eli 8–20 ppm. Alle 2 mm:n reakoossa 5 näytettä ylittää 20 ppm:n ja korkeimmat nikkelipitoisuudet ovat näytteillä HAA1 (24,9 ppm), LAA2 (23,6 ppm), SUUT1 (22,1 ppm), MAL1 (21,2 ppm), PII1 (20,7 ppm) ja LAA1 (19,5 ppm). Hienoaineksessa 6 näytettä ylittää 27 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä MAL1 (50,9 ppm), LAA2 (38,4 ppm), HAA1 (34,7 ppm), HII1 (28,3 ppm), POR1 (27,6 ppm) ja PAL2 (27,4 ppm). Alhaisimmat nikkelipitoisuudet ovat < 2 mm:n reakoossa näytteillä MAI1 (2,9 ppm), VII1 (3,1 ppm), PIH1 (3,2 ppm), VALLI2 (3,6 ppm), VALLI1 (4,0 ppm) ja KIR2 (4,0 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisimmat pitoisuudet ovat näytteillä VII1 (4,3 ppm), DAL2 (6,1 ppm), KAU2 (6,9 ppm), MUN1 (7,4 ppm), AGR1 (7,6 ppm) ja UUN2 (7,7 ppm).

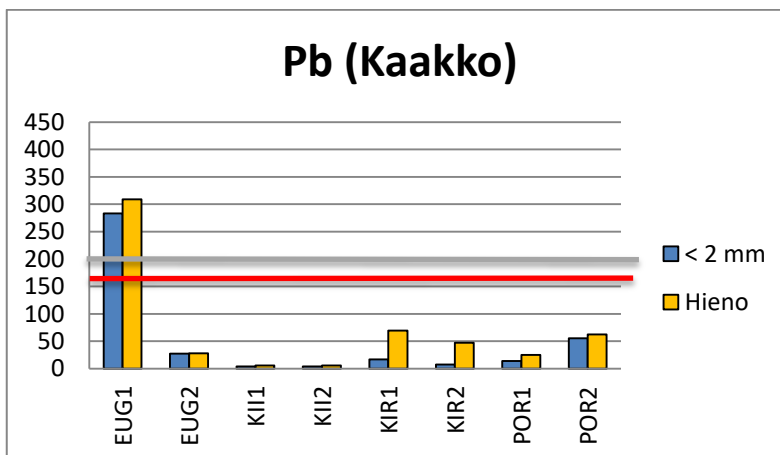
## 5.4.7 Lyijy



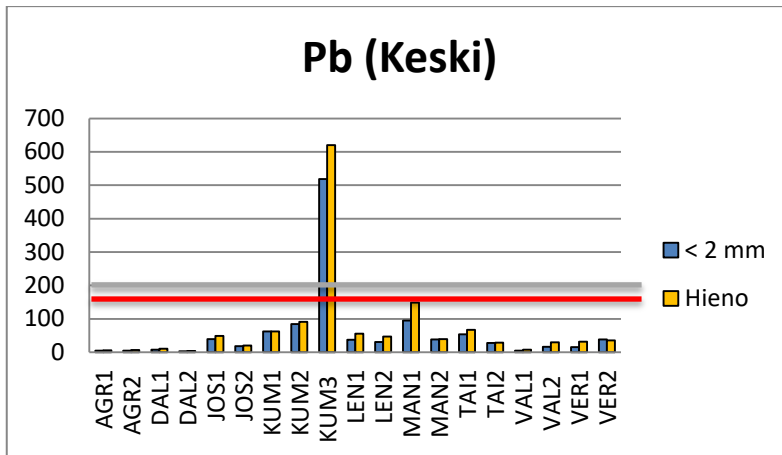
**Kuva 48A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnsarvoa (160 ppm) ja harmaa alemmaa ohjearvoa (200 ppm).



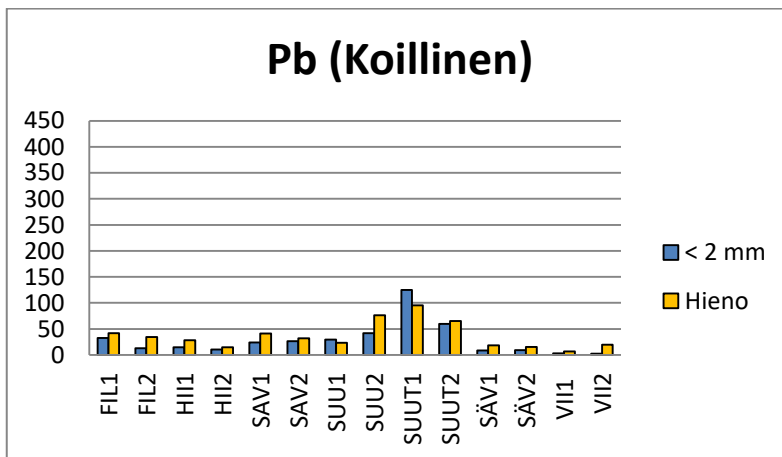
**Kuva 48B.** Itä-Helsingin puistonäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkö ppm.



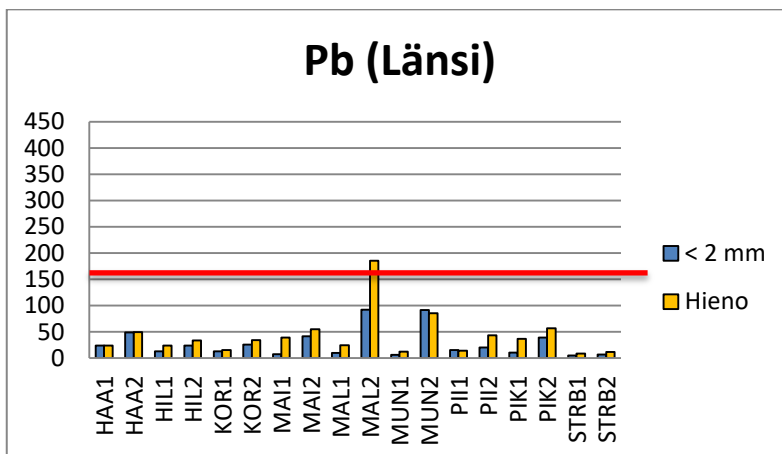
**Kuva 48C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnsarvoa (160 ppm) ja harmaa alemmaa ohjearvoa (200 ppm).



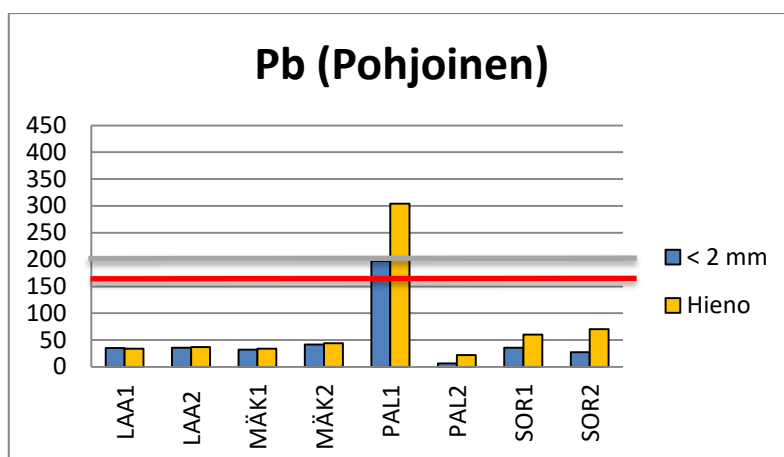
**Kuva 48D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (160 ppm) ja harmaa alemmaa ohjearvoa (200 ppm).



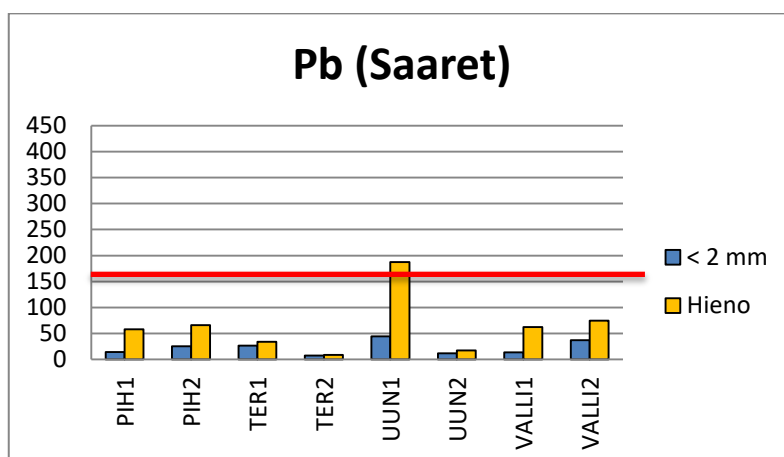
**Kuva 48E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkönä ppm.



**Kuva 48F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (160 ppm).



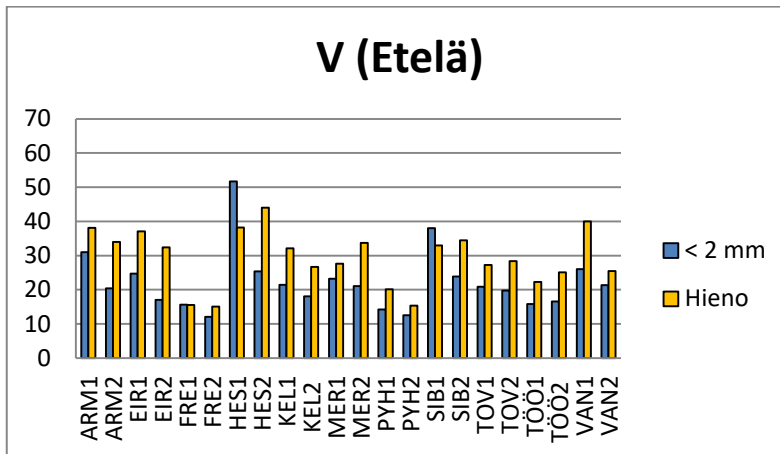
**Kuva 48G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (160 ppm) ja harmaa alempaa ohjearvoa (200 ppm).



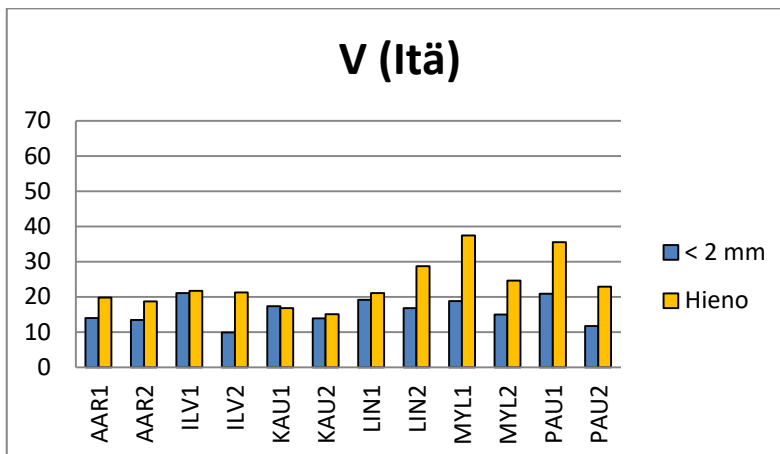
**Kuva 48H.** Helsingin edustan saarinäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa kynnysarvoa (160 ppm).

Puisto- ja saarinäytteiden lyijypitoisuudet Helsingin eri suurpiireissä näkyy kuvissa 48A-48H. Lyijypitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa yleensä alle 50 ppm:n, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat alle 100 ppm:n. Alle 2 mm:n raekoossa 7 näytettä ylittää 110 ppm:n ja korkeimmat lyijypitoisuudet ovat näytteillä KUM3 (518,3 ppm), EUG1 (283,6 ppm), PAL1 (197,2 ppm), EIR2 (184,4 ppm), EIR1 (134,9 ppm) ja SUUT1 (124,8 ppm). Hienoaineksessa 7 näytettä ylittää 180 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä KUM3 (620,0 ppm), EIR2 (407,1 ppm), EUG1 (309,1 ppm), PAL1 (304,1 ppm), EIR1 (221,3 ppm) ja UUN1 (187,6 ppm). Alhaisimmat lyijypitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä TÖÖ2 (2,6 ppm), VII2 (2,7 ppm), DAL2 (3,1 ppm), VII1 (3,2 ppm), PYH1 (3,4 ppm) ja LIN1 (3,6 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisimmat pitoisuudet ovat näytteillä DAL2 (4,2 ppm), LIN1 (5,6 ppm), AGR1 (5,7 ppm), KII1 (5,8 ppm), PYH2 (5,8 ppm) ja PYH1 (5,9 ppm).

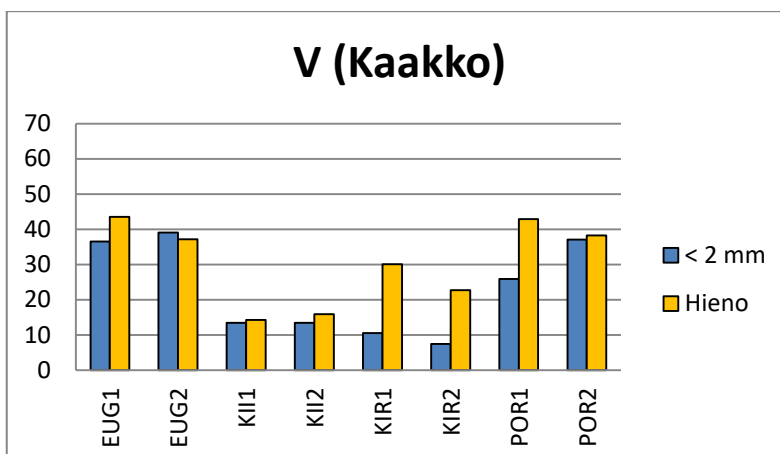
## 5.4.8 Vanadiini



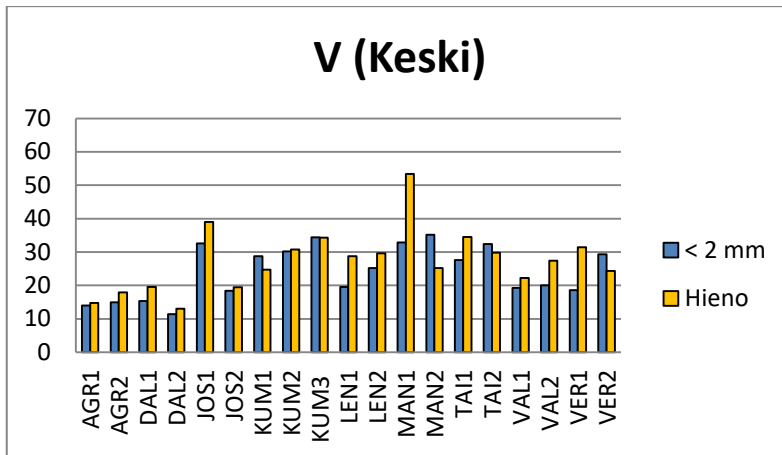
**Kuva 49A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



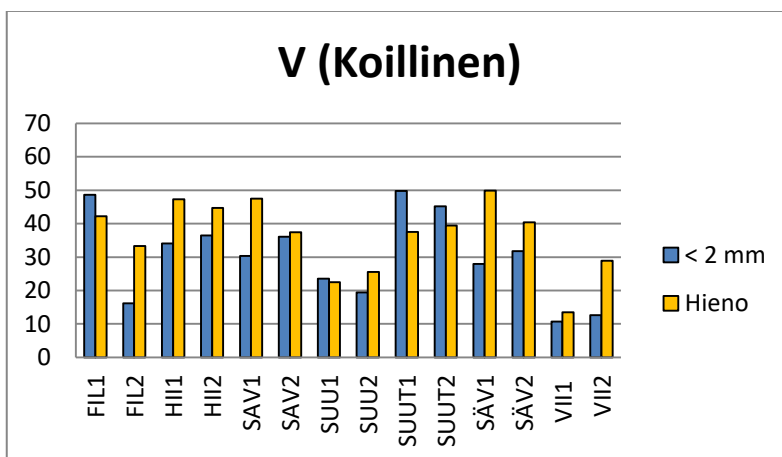
**Kuva 49B.** Itä-Helsingin puistonäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



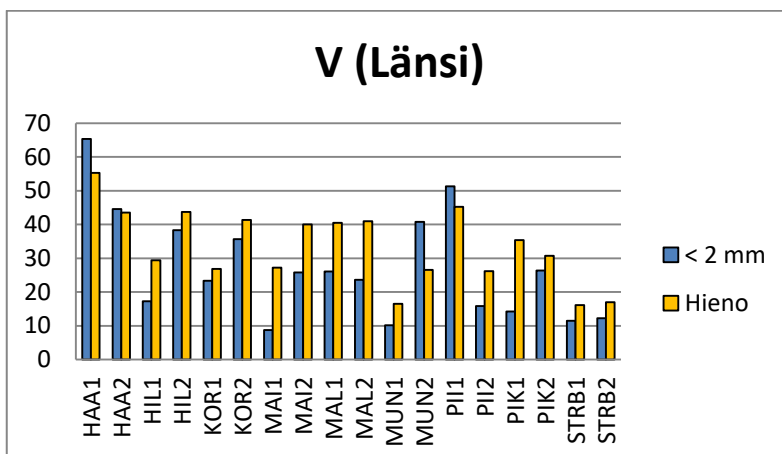
**Kuva 49C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



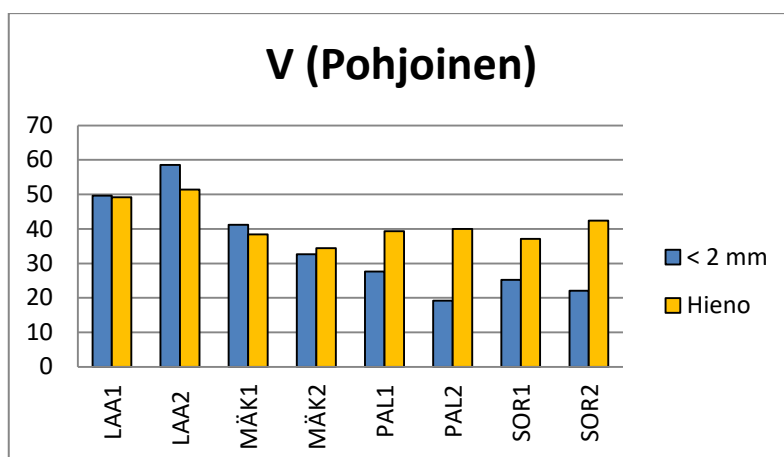
**Kuva 49D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



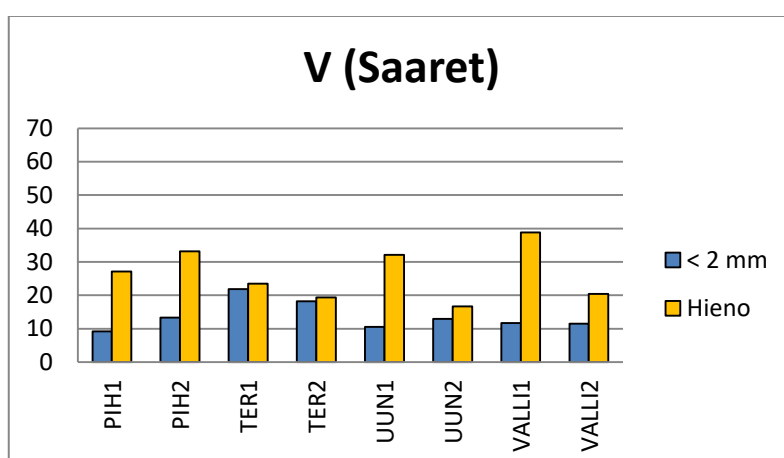
**Kuva 49E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



**Kuva 49F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



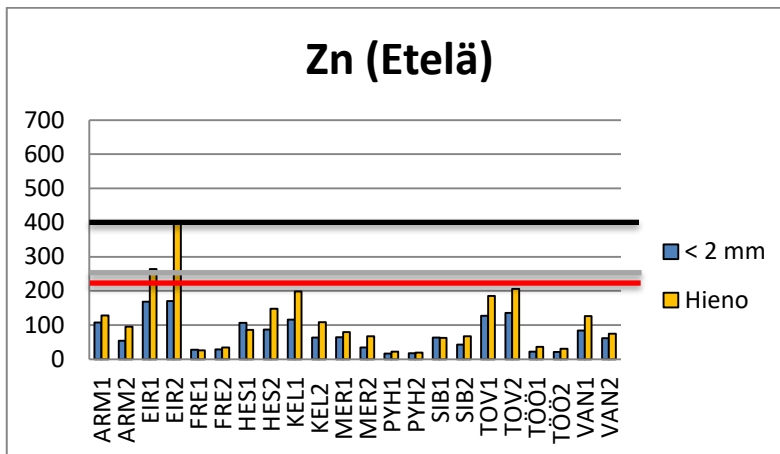
**Kuva 49G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm.



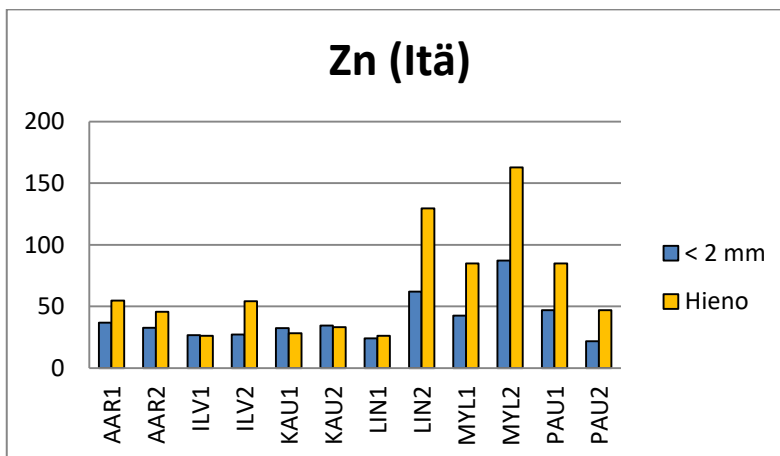
**Kuva 49H.** Helsingin edustan saarinäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm.

Puisto- ja Helsingin edustan saarinäytteiden vanadiinipitoisuudet näkyy kuvissa 49A-49H. Vanadiinipitoisuudet ovat alle 2 mm:n reakoossa pääsääntöisesti 15–35 ppm:n välillä, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat korkeammat, eli 15–40 ppm. Alle 2 mm:n raekoossa 8 näytettä ylittää 45 ppm ja korkeimmat vanadiinipitoisuudet ovat näytteillä HAA1 (65,3 ppm), LAA2 (58,6 ppm), HES1 (51,7 ppm), PII1 (51,3 ppm), SUUT1 (49,8 ppm) ja LAA1 (49,6 ppm). Hienoaineksessa 8 näytettä ylittää 45 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä HAA1 (55,3 ppm), MAN1 (53,4 ppm), LAA2 (51,4 ppm), SÄV1 (49,9 ppm), LAA1 (49,2 ppm) ja SAV1 (47,4 ppm). Alhaisimmat vanadiinipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä KIR2 (7,4 ppm), MAI1 (8,7 ppm), PIH1 (9,2 ppm), ILV2 (9,9 ppm), MUN1 (10,2 ppm) ja KIR1 (10,5 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisemmat pitoisuudet ovat näytteillä DAL2 (13,0 ppm), VII1 (13,5 ppm), KII1 (14,3 ppm), AGR1 (14,8 ppm), FRE2 (15,0 ppm) ja KAU2 (15,1 ppm).

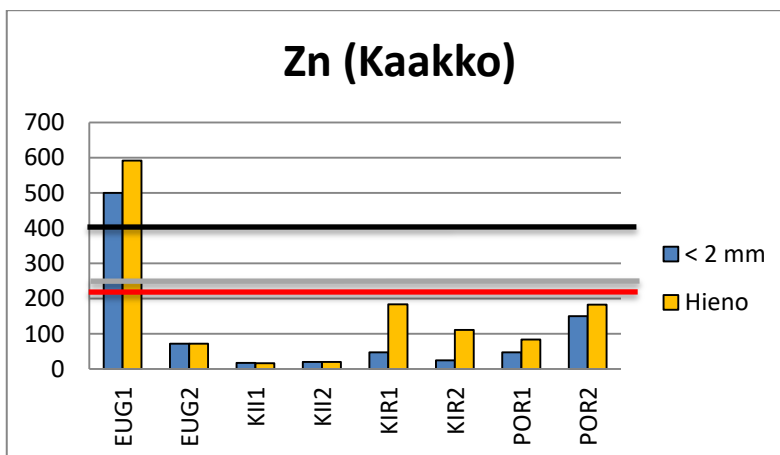
## 5.4.9 Sinkki



**Kuva 50A.** Etelä-Helsingin puistonäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (210 ppm) ja harmaa alemmaa ohjearvoa (250 ppm). Ylempi ohjearvo on musta viiva (400 ppm).

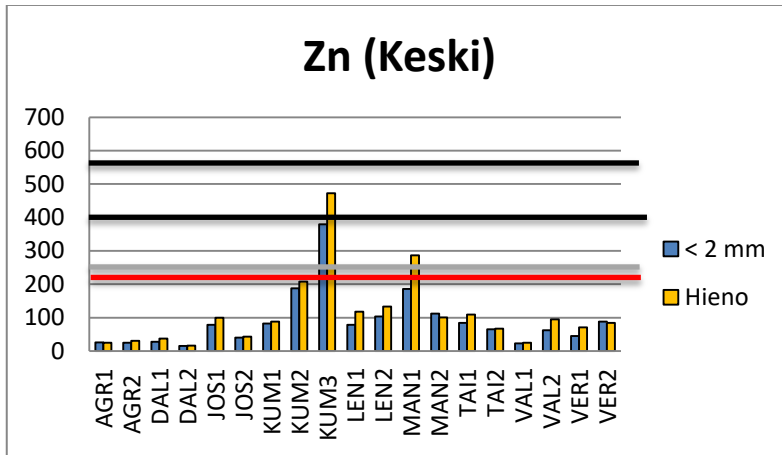


**Kuva 50B.** Itä-Helsingin puistonäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm.

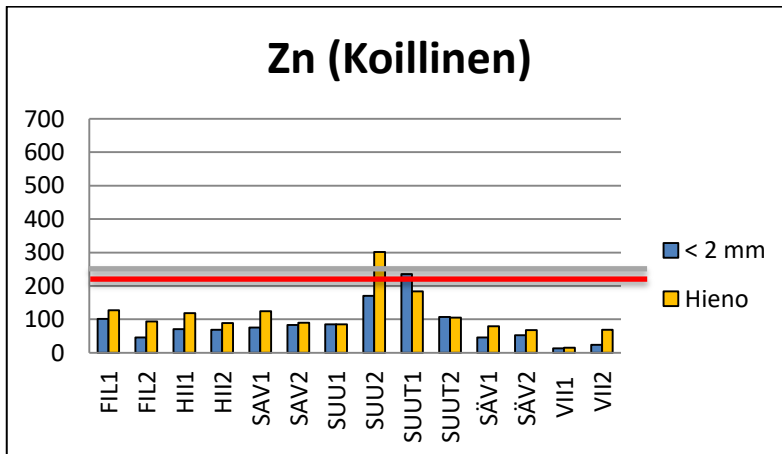


**Kuva 50C.** Kaakkois-Helsingin puistonäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (210 ppm) ja harmaa alemmaa ohjearvoa (250 ppm). Ylempi ohjearvo on musta viiva (400 ppm).

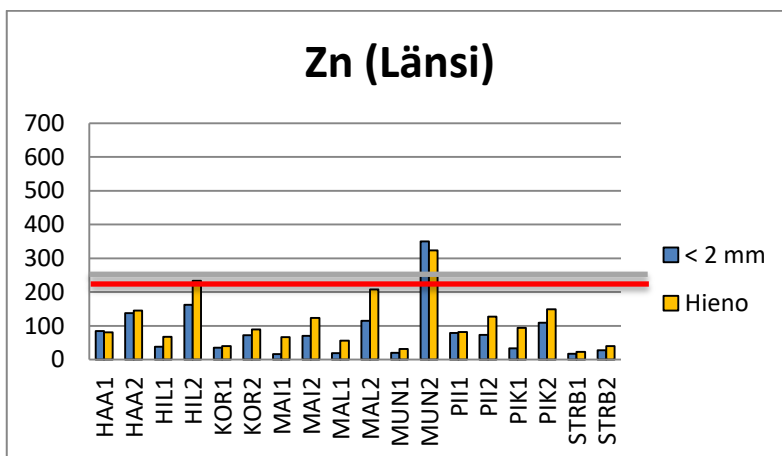




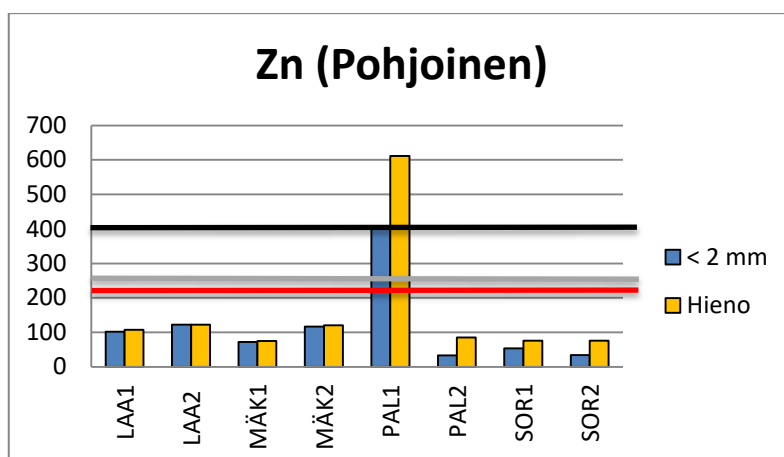
**Kuva 50D.** Keski-Helsingin puistonäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (210 ppm) ja harmaa alemmaa ohjearvoa (250 ppm). Ylempi ohjearvo on musta viiva (400 ppm).



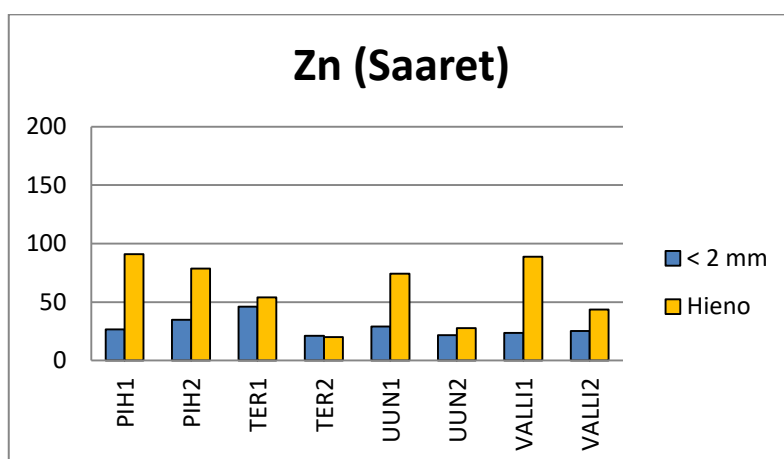
**Kuva 50E.** Koillis-Helsingin puistonäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (210 ppm) ja harmaa alemmaa ohjearvoa (250 ppm).



**Kuva 50F.** Länsi-Helsingin puistonäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (210 ppm) ja harmaa alemmaa ohjearvoa (250 ppm).



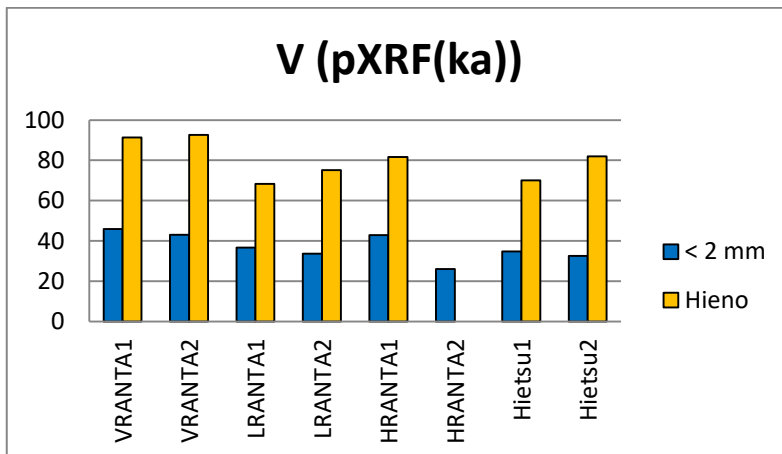
**Kuva 50G.** Pohjois-Helsingin puistonäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm. Punainen viiva kuvaa taustapitoisuutta (210 ppm) ja harmaa alempaa ohjearvoa (250 ppm). Ylempi ohjearvo on musta viiva (400 ppm).



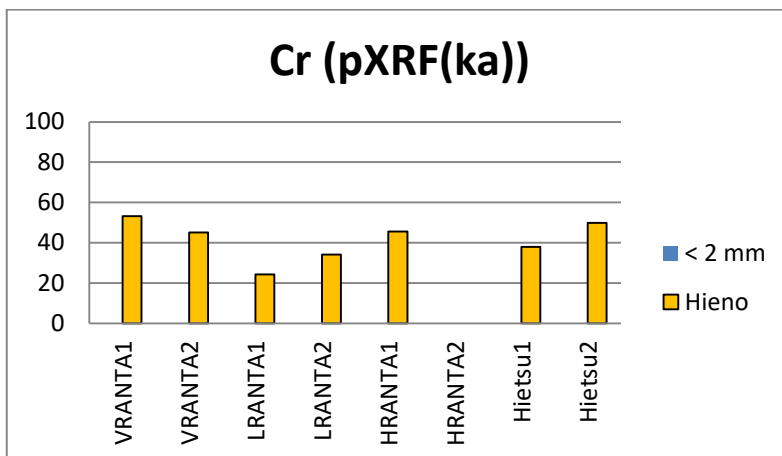
**Kuva 50H.** Helsingin edustan saarinäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm.

Puisto- ja saarinäytteiden sinkkipitoisuudet Helsingin eri suurpiireissä näkyvät kuvissa 50A–50H. Sinkkipitoisuudet ovat < 2 mm:n reakoossa yleensä alle 100 ppm, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat alle 150 ppm. Alle 2 mm:n reakoossa 7 näytettä ylittää 180 ppm:n ja korkeimmat sinkkipitoisuudet ovat näytteillä EUG1 (500,1 ppm), PAL1 (405,8 ppm), KUM3 (379,4 ppm), MUN2 (349,9 ppm), SUUT1 (235,0 ppm) ja KUM2 (187,7 ppm). Hienoaineksessa 9 näytettä ylittää 210 ppm:n ja korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä PAL1 (611,1 ppm), EUG1 (592,0 ppm), KUM3 (472,1 ppm), EIR2 (398,7 ppm), MUN2 (323,3 ppm) ja SUU2 (301,1 ppm). Alhaisimmat pitoisuudet ovat < 2 mm:n reakoossa näytteillä VII1 (13,1 ppm), DAL2 (14,8 ppm), MAI1 (16,4 ppm), PYH1 (17,0 ppm), KII1 (17,2 ppm) ja STRB1 (17,6 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa alhaisimmat ovat näytteillä VII1 (14,9 ppm), KII1 (16,1 ppm), DAL2 (16,3 ppm), TER2 (19,9 ppm), PYH2 (20,1 ppm) ja KII2 (20,4 ppm).

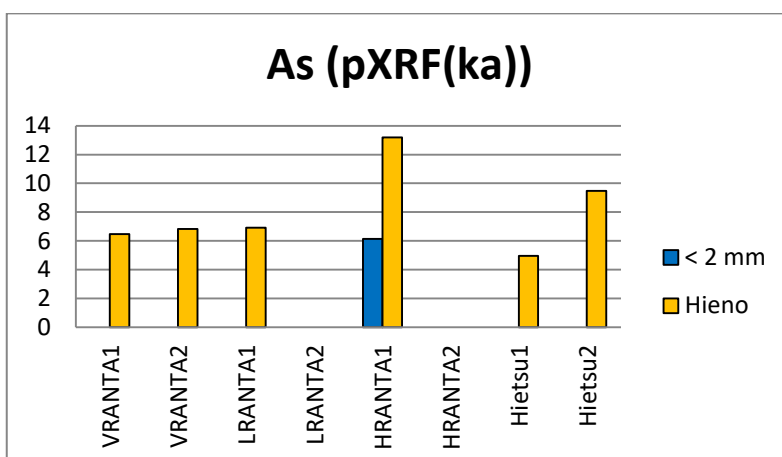
#### 5.4.10 Uimarannat (pXRF)



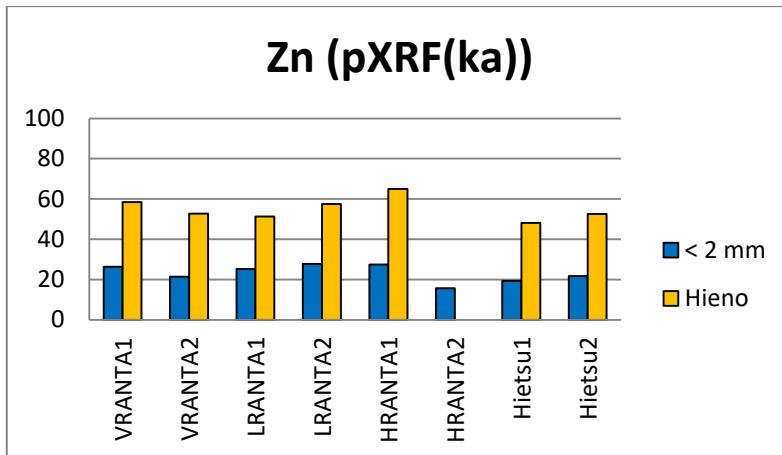
**Kuva 51A.** Uimarantanäytteiden vanadiinipitoisuudet. Yksikkönä ppm



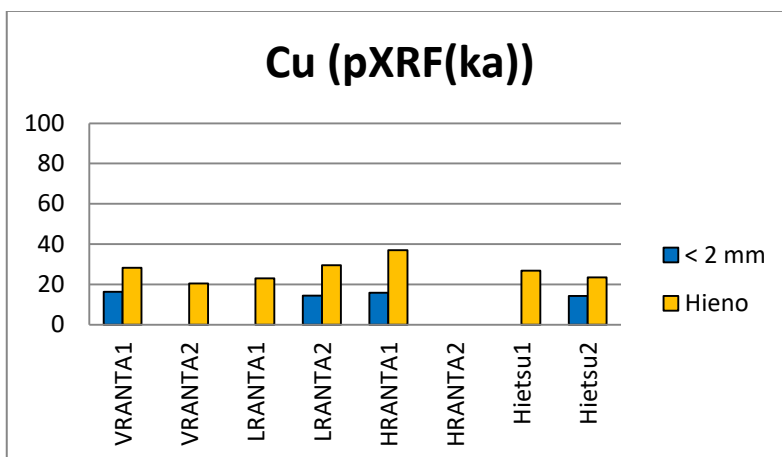
**Kuva 51B.** Uimarantanäytteiden kromipitoisuudet. Yksikkönä ppm



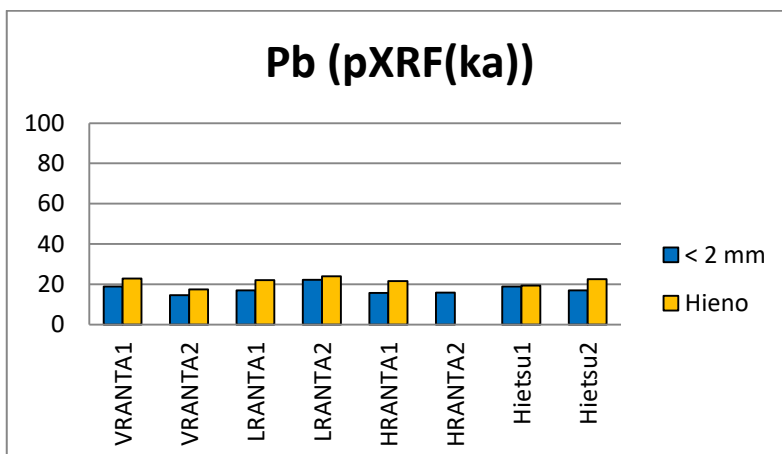
**Kuva 51C.** Uimarantanäytteiden arseenipitoisuudet. Yksikkönä ppm



**Kuva 51D.** Uimarantanäytteiden sinkkipitoisuudet. Yksikkönä ppm



**Kuva 51E.** Uimarantanäytteiden kuparipitoisuudet. Yksikkönä ppm



**Kuva 51F.** Uimarantanäytteiden lyijypitoisuudet. Yksikkönä ppm.

Helsingin uimarannoilta otetut näytteet on analysoitu vain pXRF-laitteella. Näytteet on analysoitu kaksi kertaa ja näiden keskiarvoa (pXRF(ka)) käytetään tulosten käsittelyssä. Joissakin näytteissä vain yksi analyysi oli yli määrittäysrajan, jolloin keskiarvon sijaan tuloksena käytetään tämän yhden analyysin tulosta. Nikkeli-, kadmium- ja kobolttipitoisuudet olivat alle määrittäysrajan, joten näistä aineista ei saatu tuloksia. HRANTA2 -näyte seulottiin vain < 2 mm:n raekokoon koska hienoainesta ei näytteessä ollut riittävästi.

Helsingin uimarantojen vanadiinipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa pääasiassa 25–45 ppm:n välillä, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat 65–95 ppm (Kuva 51A). Korkeimmat vanadiinipitoisuudet ovat kummassakin raekoossa näytteillä VRANTA1 ja VRANTA2, joiden pitoisuudet < 2 mm:n raekoossa on 45,9 ppm ja 43,0 ppm, sekä hienoaineksessa 91,3 ppm ja 92,6 ppm. Alhaisimmat vanadiinipitoisuudet ovat puolestaan < 2 mm:n raekoossa näytteillä HRANTA2 (26,0 ppm) ja Hietsu2 (32,6 ppm), sekä hienoaineksessa näytteillä LRANTA1 (68,3 ppm) ja Hietsu1 (70,1 ppm).

Helsingin uimarantojen sinkkipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa pääasiassa 15–30 ppm:n välillä, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat 45–65 ppm (Kuva 51D). Korkeimmat sinkkipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä LRANTA2 (27,7 ppm) ja HRANTA1 (27,4 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä HRANTA1 (65,0 ppm) ja VRANTA1 (58,4 ppm). Alhaisimmat sinkkipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä HRANTA2 (15,7 ppm) ja Hietsu1 (19,4 ppm), sekä hienoaineksessa näytteillä Hietsu1 (48,1 ppm) ja LRANTA1 (51,4 ppm).

Neljässä < 2 mm:n raekokonäytteessä kuparipitoisuus oli alle määrittäysrajan (Kuva 51E). Muuten kuparipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa pääasiassa 15–20 ppm:n välillä, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat 20–40 ppm. Korkeimmat kuparipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä VRANTA1 (16,3 ppm) ja HRANTA1 (15,9 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä HRANTA1 (36,9 ppm) ja LRANTA2 (29,6 ppm). Alhaisimmat kuparipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä Hietsu2 (14,2 ppm) ja LRANTA2 (14,4 ppm), sekä hienoaineksessa näytteillä VRANTA2 (20,5 ppm) ja LRANTA1 (23,0 ppm).

Alle 2 mm:n raekoossa Helsingin uimarantojen kromipitoisuudet olivat alemmat, kuin laitteen määrittäysraja (Kuva 51B). Hienoaineksessa kaikki näytteet saivat tuloksen ja kromipitoisuudet ovat yleisesti 25–55 ppm. Korkeimmat kromipitoisuudet ovat hienoaineksessa näytteillä VRANTA1 (53,4 ppm) ja Hietsu2 (50,0 ppm), kun puolestaan alhaisimmat pitoisuudet ovat näytteillä LRANTA1 (24,3 ppm) ja LRANTA2 (34,2 ppm). Arseenissa yksi näyte ylitti määrittäysrajan < 2 mm:n raekoossa, kun puolestaan hienoaineksessa melkein kaikki näytteet ylittivät määrittäysrajan (kuva 51C). Arseenipitoisuudet ovat hienoaineksessa yleisesti 5–13 ppm. Korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä HRANTA1 (13,2 ppm) ja Hietsu2 (9,5 ppm), kun puolestaan alhaisimmat pitoisuudet ovat näytteillä VRANTA1 (6,5 ppm) ja Hietsu1 (5,0 ppm).

Helsingin uimarantojen lyijypitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa pääasiassa 15–20 ppm:n välillä, kun puolestaan hienoaineksessa pitoisuudet ovat 15–25 ppm (Kuva 51F). Korkeimmat lyijypitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä LRANTA2 (22,2 ppm) ja VRANTA1 (18,9 ppm), kun puolestaan hienoaineksessa korkeimmat pitoisuudet ovat näytteillä LRANTA2 (24,0 ppm) ja VRANTA1 (22,9 ppm). Alhaisimmat sinkkipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa näytteillä VRANTA2 (14,5 ppm) ja HRANTA1 (15,8 ppm), sekä hienoaineksessa näytteillä VRANTA2 (17,4 ppm) ja Hietsu1 (19,3 ppm).

## 6. TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 ICP-MS-menetelmän ja pXRF-laitteen vertailu

Tutkittujen näytteiden perusteella pXRF-menetelmässä arseeni-, kromi-, kupari-, lyijy-, sinkki- ja vanadiinipitoisuudet ovat korkeammat kuin ICP-MS-menetelmässä, mutta pitoisuusero kahden eri menetelmän välillä riippuu tutkittavasta aineesta. Metallit voidaan luokitella kahteen eri ryhmään: ensimmäiseen ryhmään kuuluvat arseeni, vanadiini ja kromi (< 2 mm), joissa kahden eri menetelmän tulokset erosivat eniten toisistaan, kun puolestaan toisessa ryhmässä kupari, kromi (< 0,06 mm) lyijy ja sinkki tulokset muistuttivat eniten toisiaan kahdessa eri menetelmässä (Taulukot 14A–14B).

Suurin ero kahden eri menetelmän mediaanien välillä on vanadiinissa, jossa pXRF:n mediaanipitoisuus on kummassakin raekoossa n. 200 % korkeampi, eli kolme kertaa suurempi, kuin ICP-MS:ssä (Taulukot 14A–14B). Arseenin ja kromin mediaanit ovat 86–108 % korkeammat pXRF:ssä kuin ICP-MS:ssä, kun puolestaan lyijyn, sinkin ja kuparin mediaanit ovat 31–51 % korkeammat pXRF:ssä (Taulukot 14A–14B). Vanadiini liukenee huonosti kuningasvesiuuttoon, joten voidaan myös olettaa että liukeneminen on huonoa typpihapossakin (Hatakka et al. 2016). Alhaisemmat vanadiinipitoisuudet ICP-MS-menetelmässä voivat siis johtua vanadiinin heikosta liukoisuudesta. Vertailunäytteiden (Loamysand 10 ja NCSZC73007) annettujen pitoisuuksien ja pXRF-laitteesta saatujen tulosten vertailussa kävi ilmi (luku 5.1), että kromi ja vanadiinipitoisuudet olivat korkeammat pXRF-tuloksissa, kuin vertailunäytteen annetussa pitoisuudessa, joten se voi myös vaikuttaa korkeampaan pXRF-tulokseen näissä aineissa.

Korrelaatiot ja selityskertoimet ovat hyviä lyijyllä, sinkillä ja kuparilla, kun puolestaan arseenilla ja vanadiinilla ne ovat huonoja (Taulukot 14A–14B). Kromin selityskerroin ja korrelaatio ovat hyvät hienoaineksessa, kun taas < 2 mm:n raekoossa ne ovat huonoja, eli raekoko vaikuttaa kromiin (Taulukot 14A–14B). Raekoko ei näyttäisi hirveästi vaikuttavan kuparin, vanadiinin, sinkin ja lyijyn selityskertoimiin ja korrelaatioihin, mutta arseenissa selityskerroin ja korrelaatio ovat parempia hienoaineksessa. Raekoon vaikutus voidaan mahdollisesti selittää sillä, että hienojakoinen aines on homogeenisempää ja näin ollen mittauksen tarkkuus paranee (Hatakka et al. 2016).

**Taulukko 14A.** ICP-MS- ja pXRF-menetelmien vertailun tilastoja < 2 mm:n raekoossa.

(< 2 mm)	R <sup>2</sup>	r	n	p	kulmakerroin	pXRF(ka) mediaanin korkeusprosentti
As	0,39	0,62	84	<,0001	1,21	94 %
Cr	0,46	0,68	67	<,0001	1,03	108 %
Cu	0,88	0,94	95	<,0001	1,23	31 %
Pb	0,98	0,99	106	<,0001	1,02	43 %
V	0,78	0,88	108	<,0001	1,44	204 %
Zn	0,96	0,98	104	<,0001	1,26	45 %

**Taulukko 14B.** ICP-MS- ja pXRF-menetelmien vertailun tilastoja hienoaineksessa.

(< 0,06 mm)	R <sup>2</sup>	r	n	p	kulmakerroin	pXRF(ka) mediaanin korkeusprosentti
As	0,48	0,69	97	<,0001	1,87	86 %
Cr	0,91	0,95	103	<,0001	1,83	93 %
Cu	0,90	0,95	106	<,0001	1,36	41 %
Pb	0,99	0,99	106	<,0001	1,13	39 %
V	0,77	0,88	108	<,0001	1,64	197 %
Zn	0,97	0,98	106	<,0001	1,33	51 %

pXRF-laitteen käyttö maaperän pilaantumisen tutkimisessa on yleistynyt Suomessa ja maailmalla, minkä seurauksena useita vertailututkimuksia on tehty pXRF-laitteen ja laboratoriossa käytettävien laitteiden tulosten välillä (Weindorf et al. 2011, Wu et al. 2012, Sarala et al. 2014, Hatakka et al. 2016). Näytteiden eri käsittelytapojen (seulominen, jauhaminen), materiaalin koostumuksen (homogeenisuus, orgaanisuus, kosteus, raekoko) ja pXRF-laitteen käyttämisen kentällä on huomattu vaikuttavan saatuihin tutkimustuloksiin, joten eri tutkimuksien vertailua toisiinsa voidaan pitää vaikeana (Hatakka et al. 2016, Rouillon ja Taylor 2016, Lemièrè 2018). pXRF-menetelmän on huomattu antavan korkeampia pitoisuuksia kuin ICP-menetelmät, minkä lisäksi lyijyn, sinkin ja kuparin on osoitettu soveltuvan hyvin maaperän pXRF-analysointiin (Weindorf et al. 2011, Wu et al. 2012, Hatakka et al. 2016 ja Rouillon ja Taylor 2016). Samaan tulokseen tultiin myös tässä tutkimuksessa, jossa pXRF:ssä pitoisuudet olivat korkeammat kuin ICP-MS-menetelmässä, sekä eri menetelmällä määritetyillä lyijyn, sinkin ja kuparin pitoisuuksilla oli korkea selitysaste (> 0,87).

Korkeampien pXRF-pitoisuuksien uskotaan johtuvan siitä, että pXRF-laitetta käytettäessä analysoidavan näytteen määrä on suurempi kuin ICP-menetelmissä, joissa analysoidavan näytteen paino on vain 0,25 g (Rouillon ja Taylor 2016). Lisäksi jotkut mineraalit liukenevat huomattavasti esimerkiksi kuningasveteen, jolloin ICP-MS-menetelmää voidaan pitää osittaisanalyysinä, kun puolestaan pXRF-laite antaa totaalianalyysin (Sarala et al. 2014).

Kromin korrelaatio ja selityskerroin vaihtelevat eri raekoossa, niin että < 2 mm:n raekoossa R<sup>2</sup> on 0,46 ja r on 0,68, kun puolestaan hienoaineksessa R<sup>2</sup> on 0,91 ja r on 0,95. Hienoaineksen paremmat arvot voivat johtua siitä, että näytteen korkean



orgaanisuuden ja pienen raekoon on huomattu parantavan saatuja tuloksia (Caporale et al. 2018). Toisaalta maaperässä olevan kromin luonnollisen tai antropogeenisen luonteen on huomattu vaikuttavan pXRF- ja ICP-MS-laitteen vertailuun (Caporale et al. 2018). Maaperässä luonnollisesti esiintyvä kromi on sitoutunut silikaatteihin, jotka eivät liukene täysin kuningasvesiuutossa, ja sen seurauksena  $R^2$  on huono (0,54) (Caporale et al. 2018). Puolestaan maaperässä antropogeenisesti esiintyvässä kromissa pitoisuudet ovat korkeammat ja  $R^2$  on parempi (0,95) (Caporale et al. 2018). Tässä tutkimuksessa kromi voi siis olla < 2 mm:n raekoossa enemmän luonnollisesti esiintyvä, kun puolestaan hienoaineksessa se voi olla antropogeeninen.

Tulosten perusteella pXRF-laitte soveltuvat heikosti etenkin kromin (< 2 mm) ja arseenin pitoisuuksien mittaamiseen. Yksi mahdollinen syy kromin ja arseenin heikkoon soveltuvuuteen on se, että kromi- ja arseenipitoisuuden mittaamiseen pXRF-laitteella voi vaikuttaa näytteissä oleva korkea rautapitoisuus, joka aiheuttaa alkuaineilla matriisiefektiä (Lemière 2018). Tässä tutkimuksessa näytteiden rautapitoisuudet olivat pXRF:ssä yli 10000 ppm, joten matriisiefekti luultavasti vaikuttaa tuloksiin kromi- ja arseenipitoisuuden suhteen. Lisäksi arseenilla on sama röntgenfluorenssisäteilyenergia kuin lyijyllä, mikä hankaloittaa arseenipitoisuuden luetettavaa määrittämistä sitä enemmän mitä enemmän näytteessä on lyijyä (Parsons et al. 2012). Lisäksi arseenipitoisuuden mittaamiseen vaikuttaa näytteiden alhainen arseenipitoisuus, joka huonontaa pXRF-laitteen tulosten tarkkuutta (Parsons et al. 2012). Tämän tutkimuksen näytteet sisälsivät lyijyä, minkä lisäksi näytteiden arseenipitoisuudet olivat alhaiset, joten nämä asiat ovat voineet vaikuttaa myös arseenipitoisuuden mittaamiseen pXRF-laitteella.

## 6.2 Hienoaineksen ja < 2 mm raekoon metallipitoisuuksien vertailu

Näytteiden arseeni-, kadmium-, koboltti-, kromi-, kupari-, nikkeli-, lyijy-, sinkki- ja vanadiinipitoisuudet ovat hienoaineksessa korkeammat kuin < 2 mm:n raekoossa. Vanadiinissa, arseenissa ja koboltissa on eniten näytteitä, joissa < 2 mm:n raekoossa pitoisuudet ovat korkeammat kuin hienoaineksen, etenkin ICP-MS-analyysia käyttäen (Kuvat 24, 26 ja 38). Parhaimmat selityskertoimet ja korrelaatiot ovat lyijyllä, sinkillä ja kadmiumilla, kun puolestaan huonoimmat ovat arseenilla, vanadiinilla, nikkelillä ja

koboltilla (Taulukot 15A–15B). Kahden eri menetelmän välillä ei ole suuria eroja, paitsi arseenin selityskerroin ja korrelaatio on selvästi huonompi ICP-MS:ssä, kuin pXRF:ssä.

ICP-MS:ssä hienoaineksen mediaani on kromissa 83 % korkeampi ja nikkelissä 79 % korkeampi kuin < 2 mm:n mediaani, kun puolestaan muissa aineissa hienoaineksen mediaani on 40–60 % korkeampi (Taulukko 15A). pXRF(ka):ssa arseenin, lyijyn ja vanadiinin hienoaineksen mediaani on 40–50 % korkeampi, sekä sinkissä, kuparissa ja kromissa se on 60–70 % korkeampi, eli suuria eroja kahden eri menetelmän välillä ei ole (Taulukko 15B). Mediaaniin verrattaessa pitää huomioida, että kaikissa näytteissä tulokset eivät käyttäydy samalla lailla, joten ei voida sanoa, että jokaisessa näytepisteessä esimerkiksi vanadiinipitoisuus on hienoaineksessa n. 40 % korkeampi kuin < 2 mm:n raekoossa.

**Taulukko 15A.** Hienoaineksen ja < 2 mm:n raekoko vertailun tilastolliset tunnusluvut ICP-MS-menetelmässä

ICP-MS	R <sup>2</sup>	r	n	p	kulmakerroin	hienoaineksen mediaanin korkeusprosentti
As	0,06	0,23	107	<,0001	0,30	54 %
Cd	0,85	0,92	105	<,0001	0,94	50 %
Co	0,46	0,68	108	<,0001	0,71	34 %
Cr	0,75	0,86	107	<,0001	1,04	83 %
Cu	0,65	0,81	106	<,0001	1,18	60 %
Ni	0,54	0,74	108	<,0001	0,98	79 %
Pb	0,88	0,94	105	<,0001	1,26	48 %
V	0,51	0,71	109	<,0001	0,61	43 %
Zn	0,90	0,95	104	<,0001	1,20	56 %

**Taulukko 15B.** Hienoaineksen ja < 2 mm:n raekoko vertailun tilastolliset tunnusluvut pXRF-menetelmässä.

pXRF(ka)	R <sup>2</sup>	r	n	p	kulmakerroin	hienoaineksen mediaanin korkeusprosentti
As	0,50	0,71	77	<,0001	1,36	47 %
Cr	0,66	0,82	66	<,0001	1,12	70 %
Cu	0,76	0,87	94	<,0001	1,34	72 %
Pb	0,90	0,95	106	<,0001	1,30	45 %
V	0,47	0,69	108	<,0001	0,67	39 %
Zn	0,83	0,91	104	<,0001	1,32	63 %

Saatu tulos hienoaineksen korkeammista pitoisuuksista verrattuna  $< 2$  mm:n raekokoon vastaa hyvin aikaisempia Suomessa ja maailmalla tehtyjä tutkimuksia eri raekokojen pitoisuuksista (Tarvainen 1995, Suh ja Birch 2004, Salminen et al. 2007, Hatakka et al. 2010b ja Ciazela ja Siepak 2016). Tarvainen (1995) mukaan sinkin  $< 2$  mm raekoon ja  $< 0,06$  mm raekoon korrelaatio on 0,92, joka vastaa hyvin myös tämän tutkimuksen tuloksia sinkin osalta. Hienoaineksessa olevien korkeampien pitoisuuksien uskotaan johtuvan mm. suuremmasta pinta-alan ja tilavuuden suhteesta (SSA) sekä kationinvaihtokapasiteetista, jota esiintyy enemmän pienillä partikkeleilla (Krishna ja Mohan 2012). Raekoon pienentyessä myös totaaliabsorptio pintatiheyden on huomattu olevan korkeampi, mikä voi myös selittää suuremmat pitoisuudet (Ciazela ja Siepak 2016).

Suomessa on tutkittu mm. moreenien, sekä harjujen ja reunamuodostumien pitoisuuksia eri raekoissa (Tarvainen 1995, Salminen et al. 2007). Tutkimusten perusteella  $< 0,06$  mm:n raekoissa on suuremmat pitoisuudet kuin  $< 2$  mm:n raekoissa, riippumatta aineksen laadusta. Tarvainen (1995) mukaan koboltin, kromin, kuparin, vanadiinin ja sinkin mediaanipitoisuus on hienoaineksessa 41–53 % korkeampi kuin  $< 2$  mm:n raekoissa, eli kyseiset aineet käyttäytyvät samalla lailla. Puolestaan Salminen et al. (2007) mukaan koboltin, kromin, vanadiinin ja sinkin hienoaineksen mediaani on 128–178 % korkeampi, kuin  $< 2$  mm:n mediaani, mutta kuparissa hienoaineksen mediaani on 44 % korkeampi, eli vastaa hyvin Tarvaisen (1995) tutkimuksia.

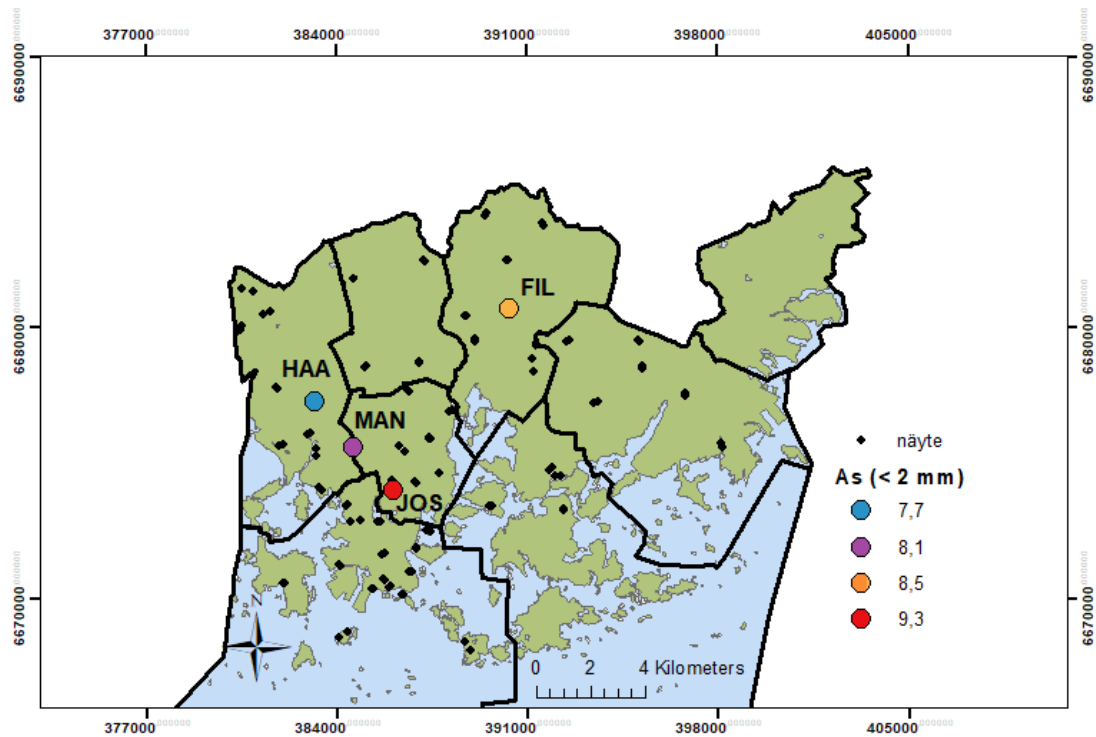
Tässä tutkimuksessa ICP-MS-tuloksissa kuparin, koboltin, vanadiinin ja sinkin mediaanipitoisuus hienoaineksessa on 34–60 % korkeampi kuin  $< 2$  mm:n mediaani, eli ne vastaavat paremmin Tarvaisen (1995) tuloksia. Puolestaan kromin (83 %) korkeusprosentti on suurempi kuin Tarvaisen (1995), mutta alhaisempi kuin Salmisen et al. (2007). Raekokojen mediaanien ero vaihtelee siis eri tutkimuksissa. Edellä mainituissa tutkimuksissa käytettiin kuningasvesiuuttoa, kun taas tässä tutkimuksessa käytettiin typpihappouuttoa. Kuningasvesiuuton ja typpihappouuton tulokset eivät eroa toisistaan, eli tuloksien vaihtelu ei johdu eri hapon käytöstä (Salminen et al. 2007, Hatakka et al. 2010b).

### 6.3 Puistojen, saarien ja uimarantojen maaperän metallipitoisuudet

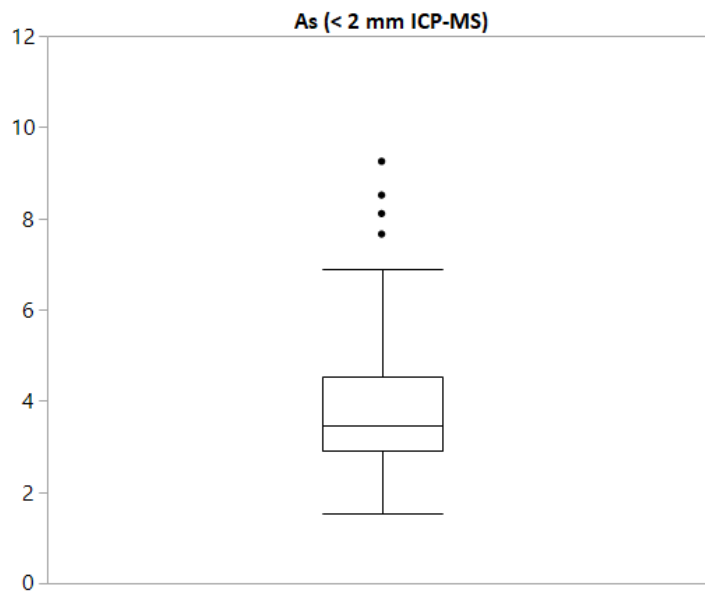
Maaperän pilaantuneisuutta tutkitaan Suomessa virallisesti alle 2 mm:n raakoosta, joten seuraavaksi käsiteltävien puisto- ja saarinäytteiden metallipitoisuudet on esitetty < 2 mm:n raakoossa ja analyysimenetelmänä on ICP-MS. Hienoaineksesta ja pXRF-laitteella mitattuja tuloksia vertaillaan kuitenkin virallisiin maaperän pitoisuuksiin. Uimarantanäytteissä metallipitoisuudet olivat pXRF-menetelmässä alhaiset, joten ICP-MS-analyysia ei tehty näytteistä.

#### 6.3.1 Arseeni

Arseenin kynnysarvo on 5 ppm, mutta Helsinki kuuluu Etelä-Suomen arseenivyöhykkeeseen, minkä seurauksena luonnollinen arseenipitoisuus on Helsingissä ja Etelä-Suomessa korkeampi, kuin muualla Suomessa (Hatakka et al. 2010). Korkeamman luonnollisen arseenipitoisuuden takia taustapitoisuus korvaa Helsingissä arseenin kynnysarvon ja Helsingin puistoissa arseenin taustapitoisuutena voidaan pitää 7,2 ppm:ää (Tarvainen et al. 2013). Arseenin taustapitoisuus ylitetään Josefinkalliollla (JOS1 9,3 ppm), Filpuksenpuistossa (FIL1 8,5 ppm), Mansikkamäessä (MAN2 8,1 ppm) ja Haaganpuistossa (HAA1 7,7 ppm) (Kuva 52). Puisto- ja saarinäytteiden arseenipitoisuudet ovat yleisesti < 2 mm:n raakoossa 2,9–4,5 ppm:n välillä ja mediaani on 3,5 ppm, eli arseenipitoisuudet ovat kuitenkin pääasiassa alhaiset (Kuva 53). Helsingin suurpiireissä korkeimmat arseenipitoisuuksien mediaanit < 2 mm:n raakoossa ovat Länsi- ja Pohjois-Helsingissä, kun puolestaan Helsingin edustan saarien mediaani on alhaisin (Taulukossa 16). Etelä-Helsingissä mediaani on 3,6 ppm, eli se on hiukan alhaisempi kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 4,7 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä arseenipitoisuus on 5,2 ppm, Paloheinässä 4,0 ppm ja Töölönlahdella 3,5 ppm. Tässä tutkimuksessa Töölönlahden puiston (2,9 ppm, 2,4 ppm) arseenipitoisuudet olivat kummassakin näytteessä hiukan alhaisemmat, kuin Hatakka et al. (2010a) tuloksissa. Munkinpuiston MUN2 -näytteessä (4,7 ppm) ja Paloheinänhuipun PAL2 -näytteessä (3,2 ppm) pitoisuudet muistuttavat Hatakka et al. (2010a) pitoisuuksia.



**Kuva 52.** Arseenipitoisuudet (ppm) taustapitoisuuden ylittävissä kohteissa.



**Kuva 53.** Näytteiden (n=109) arseenipitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa.

**Taulukko 16.** Arseenipitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

Suurpiiri	Mediaani (As)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	3,6	22
Itä	3,4	12
Kaakkoinen	3,2	8
Keski	3,5	19
Koillinen	3,6	14
Länsi	4,1	18
Pohjoinen	4,3	8
Saaret	2,4	8

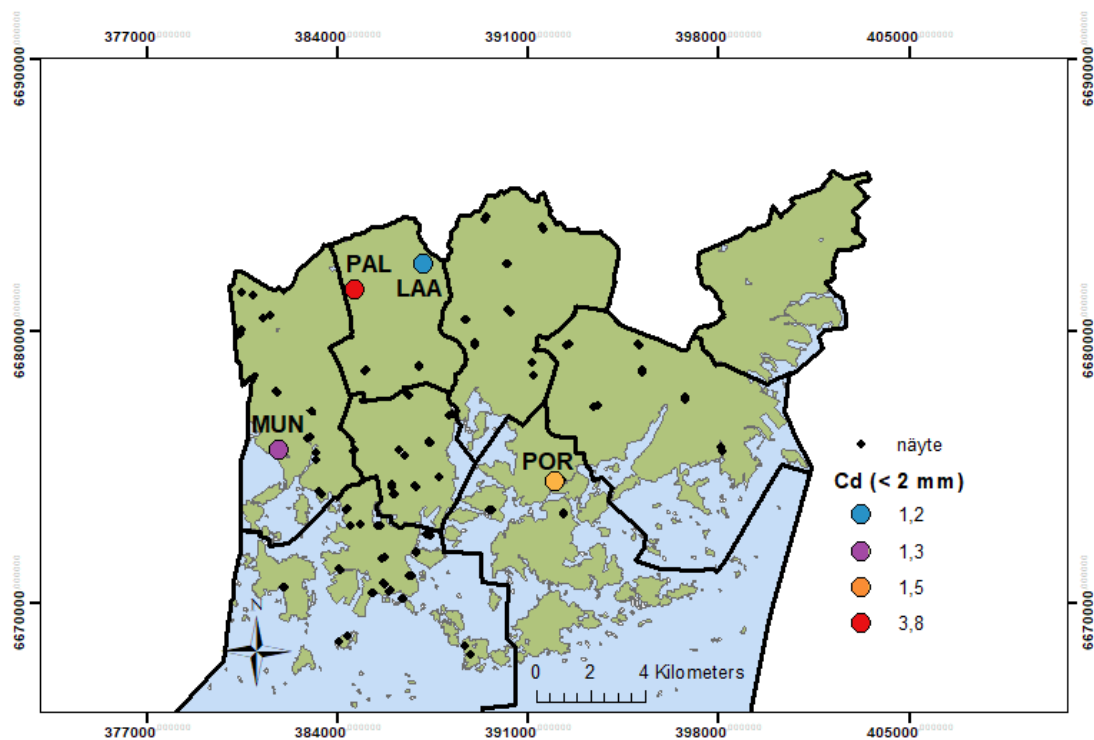
Jos maaperän pilaantuneisuutta tarkasteltaisiin hienoaineksessa, niin arseenin taustapitoisuus ylittyisi 18 kertaa. Hienoaineksessa korkeimmat pitoisuudet ovat Piianpuistossa (PII2 13,7 ppm), Josefatin kalliolla (JOS1 11,9 ppm), Kirsikkapuistossa (KIR2 11,2 ppm), Ilveskorvenpuistossa (ILV2 9,7 ppm) ja Paloheinänhuipulla (PAL1 9,5 ppm). Eli ainoastaan Piianpuiston ja Josefatin kallion näytteiden korkeat pitoisuudet vastaavat < 2 mm raekoon tuloksia.

Alle 2 mm:n raekoossa korkeimmat arseenipitoisuudet pXRF-laitella on Kumtähdenkenttä (KUM3 37,8 ppm), Paloheinänhuipulla (PAL1 22,6 ppm), Mansikkamäessä (MAN2 17,2 ppm), Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 16,2 ppm) ja Eiran puistossa (EIR2 15,3 ppm). Korkeimmat arseenipitoisuudet ovat siis eri paikoissa kuin virallisissa ICP-MS-tuloksissa, joten pXRF-laite soveltuu huonosti arseenipitoisuuksien mittaamiseen Helsingin puistoissa. Esimerkiksi JOS1- ja FIL1 -näytteiden korkeat arseenipitoisuudet olisivat jääneet huomaamatta, jos tutkimus olisi tehty pelkällä pXRF-laitteella.

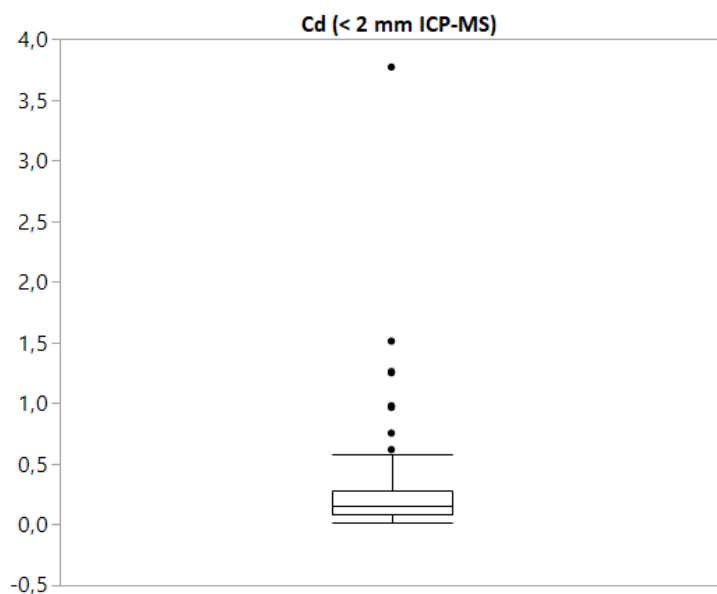
### 6.3.2 Kadmium

Kadmiumin kynnysarvo on 1 ppm ja se ylitetään Laamannipuistossa (LAA2 1,25 ppm), Paloheinänhuipulla (PAL1 3,77 ppm), Porolahdenpuistossa (POR2 1,51 ppm) ja Munkinpuistossa (MUN2 1,26 ppm) (Kuva 54). Alempaa ja ylempää ohjearvoa ei ylitetä yhdessäkään < 2 mm:n raekokonäytteessä. Näytteiden kadmiumipitoisuus on < 2 mm:n raekoossa yleisesti 0,08–0,28 ppm ja mediaani on 0,16 ppm, eli pitoisuudet ovat alhaiset (Kuva 55). Alle 2 mm:n raekoossa suurpiirien mediaanit ovat alhaisimmat Itä-

Helsingissä (0,12 ppm) ja Helsingin edustan saarilla (0,08 ppm), kun puolestaan Kaakkois-Helsingissä (0,30 ppm) on korkein kadmiumin mediaani (Taulukko 17). Etelä-Helsingissä mediaani on 0,16 ppm, eli se on alhaisempi kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 0,3 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä kadmiumpitoisuus on 0,5 ppm, Paloheinässä 0,2 ppm ja Töölönlahdella 0,1 ppm. Tässä tutkimuksessa Töölönlahden puiston (0 ppm, 0,1 ppm) ja Paloheinänhuipun PAL2 -näytteen (0,1 ppm) pitoisuudet ovat samat kuin Hatakka et al. (2010a) tutkimuksessa. Munkinpuistossa (0,1 ppm, 1,3 ppm) pitoisuudet eroavat hiukan Hatakka et al. (2010a) pitoisuuksista.



**Kuva 54.** Kadmiumpitoisuudet (ppm) kynnysarvon ylittävissä kohteissa.



**Kuva 55.** Näytteiden (n=109) kadmiumpitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa.

**Taulukko 17.** Kadmiumpitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

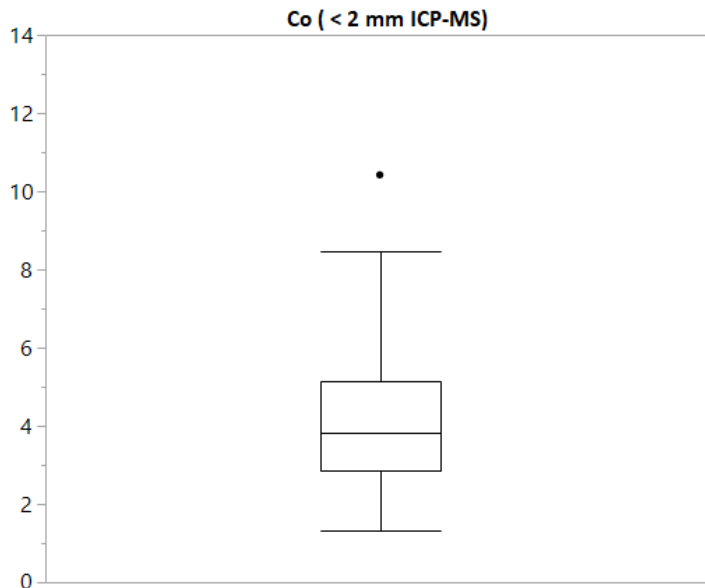
Suurpiiri	Mediaani (Cd)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	0,16	22
Itä	0,12	12
Kaakkoinen	0,30	8
Keski	0,17	19
Koillinen	0,16	14
Länsi	0,20	18
Pohjoinen	0,21	8
Saaret	0,08	8

Kadmiumin kynnysarvo ylitetään hienoaineksessa seitsemässä näytteessä, jotka sijaitsevat Paloheinänhuipulla (PAL1 5,8 ppm), Kirsikkapuistossa (KIR1 2,6 ppm, KIR2 2,5 ppm), Porolahdenpuistossa (POR2 1,9 ppm), Laamanninpuistossa (LAA2 1,1 ppm), Kuntähdenkentässä (KUM3 1,09 ppm) ja Munkinpuistossa (MUN2 1,08 ppm). Puistot vastaavat hyvin < 2 mm:n raekokotuloksia, lukuun ottamatta Kirsikkapuistoa.



### 6.3.3 Koboltti

Koboltin kynnysarvo on 20 ppm, eikä sitä ylitetä yhdessäkään < 2 mm:n raekokonäytteessä. Korkeimmat kobolttipitoisuudet ovat Piianpuistossa (PII1 10,4 ppm), Laamannipuistossa (LAA1 7,5 ppm, LAA2 8,5 ppm), Haaganpuistossa (HAA1 7,9 ppm) ja Malminkartanonhuipulla (MAL1 7,6). Alle 2 mm:n raekoossa näytteiden kobolttipitoisuus on 2,8–5,2 ppm välillä ja mediaani on 3,8 ppm, eli pitoisuudet ovat alhaisia (Kuva 56). Korkeimmat suurpiirien mediaanit ovat Koillis- ja Pohjois-Helsingissä, kun puolestaan alhaisimmat mediaanit ovat Itä-Helsingissä ja Helsingin edustan saarilla (Taulukko 18). Etelä-Helsingissä mediaani on 3,8 ppm, eli se on aika sama kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 4,5 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä kobolttipitoisuus on 6 ppm, Paloheinässä 5 ppm ja Töölönlahdella 6 ppm. Tässä tutkimuksessa Munkinpuiston (2 ppm, 5 ppm), Paloheinänhuipun (5 ppm, 4 ppm) ja Töölönlahden puiston (3 ppm, 4 ppm) pitoisuudet muistuttavat Hatakka et al. (2010a) tuloksia.



**Kuva 56.** Näytteiden (n=109) kobolttipitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa.

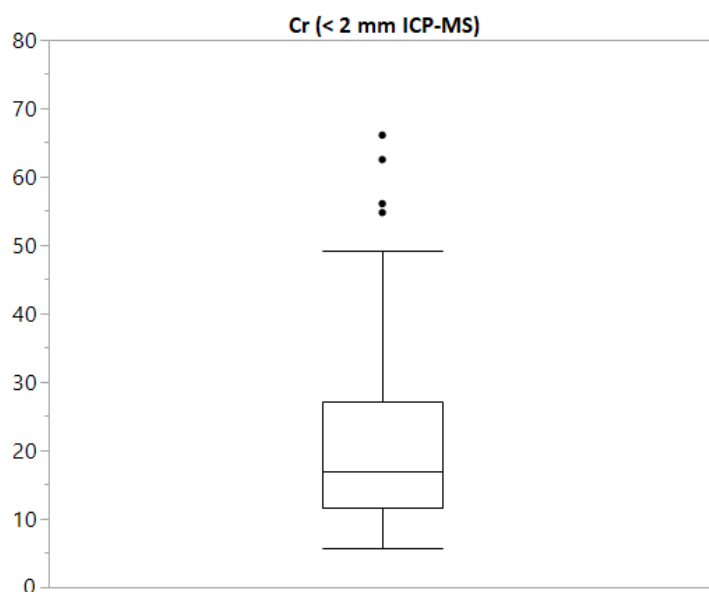
**Taulukko 18.** Kobolttipitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

Suurpiiri	Mediaani (Co)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	3,8	22
Itä	3,0	12
Kaakkoinen	4,0	8
Keski	3,6	19
Koillinen	5,2	14
Länsi	4,4	18
Pohjoinen	4,7	8
Saaret	2,1	8

Koboltin kynnysarvo ei myöskään ylitetä hienoaineksessa. Korkeimmat pitoisuudet ovat Malminkartanonhuipulla (MAL1 15,3 ppm), Paloheinänhuipulla (PAL2 9,6 ppm), Porolahdenpuistossa (POR1 9,5 ppm), Säveltäjänpuistossa (SÄV1 9,0 ppm) ja Mansikkamäessä (MAN1 9,0 ppm). Ainoastaan Malminkartanonhuipulla myös < 2 mm raekoon pitoisuudet olivat korkeita, eli hienoaineksessa korkeimmat kobolttipitoisuudet ovat eri näytteillä, kuin < 2 mm:n raekoossa.

#### 6.3.4 Kromi

Kromin kynnysarvo on 100 ppm, eikä sitä ylitetä yhdessäkään < 2 mm:n raekokonäytteessä. Korkeimmat kromipitoisuudet ovat Porolahdenpuistossa (POR2 66,1 ppm), Haaganpuistossa (HAA1 62,5 ppm), Paloheinänhuipulla (PAL1 56,1 ppm) ja Suutarilanpuistossa (SUUT1 54,8 ppm). Yleisesti näytteiden kromipitoisuudet ovat < 2 mm:n raekoossa 11,7–27,1 ppm:n välillä ja mediaani on 16,9 ppm, eli kromipitoisuudet ovat alhaiset (Kuva 57). Alhaisimmat suurpiirien mediaanit ovat Itä-Helsingissä ja Helsingin edustan saarilla, kun puolestaan korkeimmat mediaanit ovat Koillis- ja Pohjois-Helsingissä (Taulukko 19). Etelä-Helsingissä mediaani on 15 ppm, eli pitoisuus on alhaisempi kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 33 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä kromipitoisuus on 27 ppm, Paloheinässä 21 ppm ja Töölönlahdella 29,0 ppm. Tässä tutkimuksessa Töölönlahden puiston näytteissä (12 ppm, 11 ppm) ja Paloheinänhuipun PAL2 -näytteessä (14 ppm) pitoisuudet ovat alhaisemmat kuin Hatakka et al. (2010a) tutkimuksessa. Munkinpuistossa (7 ppm, 45 ppm) pitoisuudet eivät vastaa Hatakka et al. (2010a) pitoisuuksia.



**Kuva 57.** Näytteiden (n=109) kromipitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa.

**Taulukko 19.** Kromipitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

Suurpiiri	Mediaani (Cr)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	15,3	22
Itä	12,6	12
Kaakkoinen	21,9	8
Keski	18,2	19
Koillinen	28,8	14
Länsi	21,6	18
Pohjoinen	27,1	8
Saaret	8,7	8

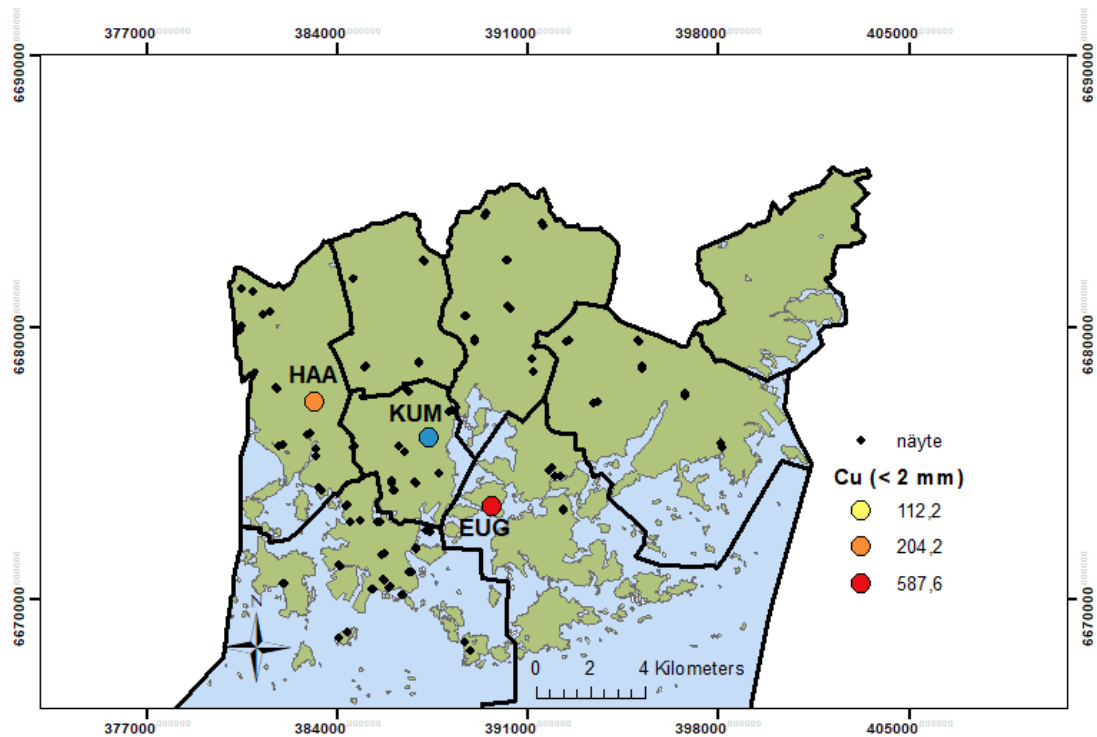
Kromin kynnysarvoa ei ihan ylitetä hienoaineksessa. Korkeimmat pitoisuudet ovat Kirsikkapuistossa (KIR2 98,7 ppm, KIR1 87,3 ppm), Paloheinänhuipulla (PAL1 85,4 ppm), Porolahdenpuistossa (POR2 80,5 ppm) ja Haaganpuistossa (HAA1 74,3 ppm). Ainoastaan Kirsikkapuistossa pitoisuudet eivät ole korkeat < 2 mm raekoossa, eli muissa puistoissa korkeat hienoainespitoisuudet vastaavat hyvin < 2 mm:n tuloksia.

Alle 2 mm:n raekoossa korkeimmat kromipitoisuudet pXRF-laitteella on Paloheinänhuipulla (PAL1 167,2 ppm), Malminkartanonhuipulla (MAL1 134,5 ppm), Haaganpuistossa (HAA1 111,2 ppm), Mansikkamäessä (MAN2 86,7 ppm) ja Hilapellolla (HIL2 78,6 ppm). PAL1- ja HAA1 -näytteissä pitoisuudet ovat korkeat

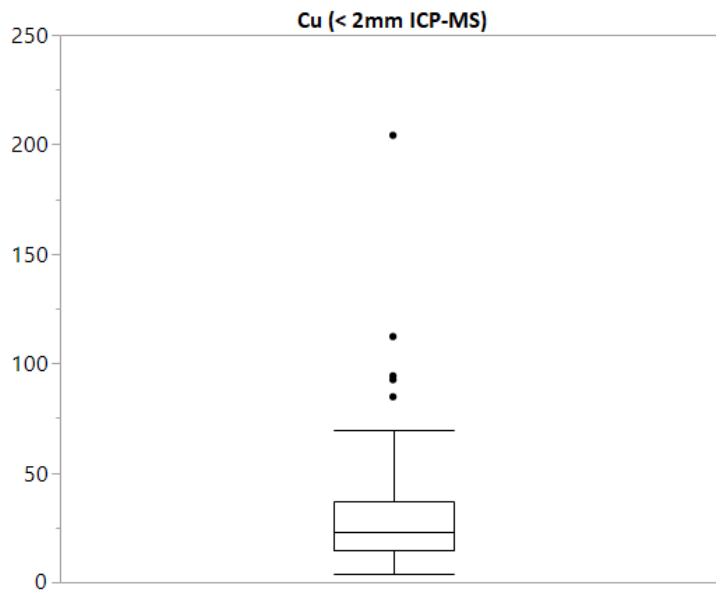
myös ICP-MS-menetelmässä, mutta muissa näytteissä korkeat pitoisuudet pXRF-laitteessa eivät vastaa korkeita pitoisuuksia ICP-MS:ssä. pXRF-laitte soveltuu etenkin pienien pitoisuuksien ollessa kyseessä heikosti kromipitoisuuden mittaamiseen maaperästä, kuitenkin hiukan paremmin kuin arseenipitoisuuksien arvioimiseen.

### 6.3.5 Kupari

Kuparin kynnysarvo on 100 ppm ja se ylitetään Paloheinänhuipulla (PAL1 112,2 ppm), minkä lisäksi Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 587,6 ppm) ja Haaganpuistossa (HAA1 204,2 ppm) ylitetään ylempi ohjearvo 200 ppm (Kuva 58). Ylemmän ohjearvon ylittävissä näytteissä pilaantumista voidaan pitää vakavana, mutta huomioitavaa on, että kummassakin puistossa toisen otetun näytteen pitoisuus (EUG2, HAA2) ei ylitä kynnysarvoa. Alle 2 mm:n raekoossa näytteiden kuparipitoisuudet ovat yleisesti 4,7–36,9 ppm:n välillä ja näytteiden mediaani on 23,2 ppm, eli pitoisuudet ovat muuten alhaiset (Kuva 59). Suurpiirien kuparipitoisuuksien mediaanit ovat korkeimmat Etelä-, Länsi- ja Pohjois-Helsingissä, kun puolestaan Helsingin edustan saarilla on alhaisin mediaani (Taulukko 20). Etelä-Helsingissä mediaani on 32 ppm, eli pitoisuus on hiukan alhaisempi kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 44 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä kuparipitoisuus on 38 ppm, Paloheinässä 20 ppm ja Töölönlahdella 23 ppm. Tässä tutkimuksessa Töölönlahden puiston TÖÖ2 -näytteen (24 ppm) ja Paloheinänhuipun PAL2 -näytteen (14 ppm) pitoisuudet muistuttavat Hatakka et al. (2010a) pitoisuuksia. Munkinpuistossa pitoisuudet (7 ppm, 85 ppm) eriävät Hatakka et al. (2010a) saamista pitoisuuksista.



**Kuva 58.** Kuparipitoisuudet (ppm) kynnysarvon ylittävissä kohteissa.



**Kuva 59.** Näytteiden (n=109) kuparipitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa. Laatikkokuvaaja on rajattu 250 ppm:n, eli EUG1 -näyte (588 ppm) jää rajauksen ulkopuolelle.

**Taulukko 20.** Kuparipitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

Suurpiiri	Mediaani (Cu)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	31,7	22
Itä	19,4	12
Kaakkoinen	22,0	8
Keski	21,8	19
Koillinen	24,3	14
Länsi	28,7	18
Pohjoinen	28,7	8
Saaret	9,2	8

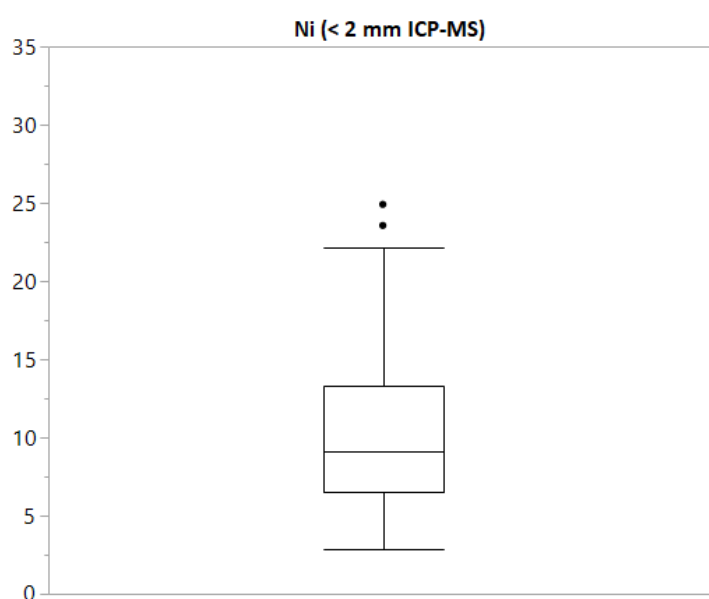
Hienoaineksessa kuparin kynnysarvo ylitetään Kumtähdenkentällä (KUM3 123,7 ppm), Hilapellolla (HIL2 107,9 ppm), Myllypuron liikuntapuistossa (MYL2 103,8 ppm), Kirsikkapuistossa (KIR1 103,6 ppm) ja Malminkartanonhuipulla (MAL2 100,7 ppm). Paloheinänhuipulla ylitetään alempi ohjearvo (PAL1 181,8 ppm) ja Eugen Schaumanin puistossa ylempi ohjearvo (EUG1 1859,3 ppm). EUG1-, PAL1- ja KUM3 -näytteiden korkeat pitoisuudet nähdään myös < 2 mm:n raekoossa, mutta muuten esimerkiksi HAA1 -näytteen korkeita pitoisuuksia < 2 mm:n raekoossa ei nähdä hienoaineksessa.

Alle 2 mm:n raekoossa korkeimmat kuparipitoisuudet mitattiin pXRF-laitteella näytteistä, jotka sijaitsevat Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 728,9 ppm), Paloheinänhuipussa (PAL1 198,5 ppm), Kumtähdenkentällä (KUM3 145,5 ppm), Suutarilanpuistossa (SUUT1 98,8 ppm) ja Mansikkamäessä (MAN2 97,6 ppm). ICP-MS- ja pXRF-tuloksissa korkeimmat kuparipitoisuudet ovat siis pääasiassa samoissa näytteissä, joten pXRF-laite soveltuu hyvin näytteiden kuparipitoisuuksien mittaamiseen. Ainostaan HAA1 -näytteessä pXRF-laite ei havainnut korkeita kuparipitoisuuksia, kun puolestaan ICP-MS:ssä pitoisuudet olivat toiseksi korkeimmat.

### 6.3.6 Nikkeli

Nikkelin kynnysarvo on 50 ppm, eikä sitä ylitetä missään < 2 mm:n raekokonäytteessä. Korkeimmat nikkelipitoisuudet ovat Haaganpuistossa (HAA1 24,9 ppm), Laamannipuistossa (LAA2 23,6 ppm), Suutarilanpuistossa (SUUT1 22,1 ppm) ja Malminkartanonhuipulla (MAL1 21,2 ppm). Alle 2 mm:n raekoossa näytteiden nikkelipitoisuus on 6,5–13,3 ppm:n välillä ja mediaani on 9,1 ppm, eli nikkelipitoisuudet ovat muuten alhaiset (Kuva 60). Korkein mediaani Helsingin

suurpiireissä on Koillis-Helsingissä, kun puolestaan alhaisin on Helsingin edustan saarilla (Taulukko 21). Etelä-Helsingissä mediaani on 9 ppm, eli pitoisuus on hiukan alhaisempi kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 14 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä nikkelpitoisuus on 12 ppm, Paloheinässä 9 ppm ja Töölönlahdella 9 ppm. Tässä tutkimuksessa Töölönlahden puistossa nikkelpitoisuudet (7 ppm, 6 ppm) ovat samanlaiset kuin Hatakka et al. (2010a) tuloksissa. Paloheinänhuipun PAL2 -näyte (9 ppm) ja Munkinpuiston MUN2 -näyte (16 ppm) vastaavat myös hyvin Hatakka et al. (2010a) pitoisuuksia.



**Kuva 60.** Näytteiden (n=109) nikkelpitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa.

**Taulukko 21.** Nikkelpitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

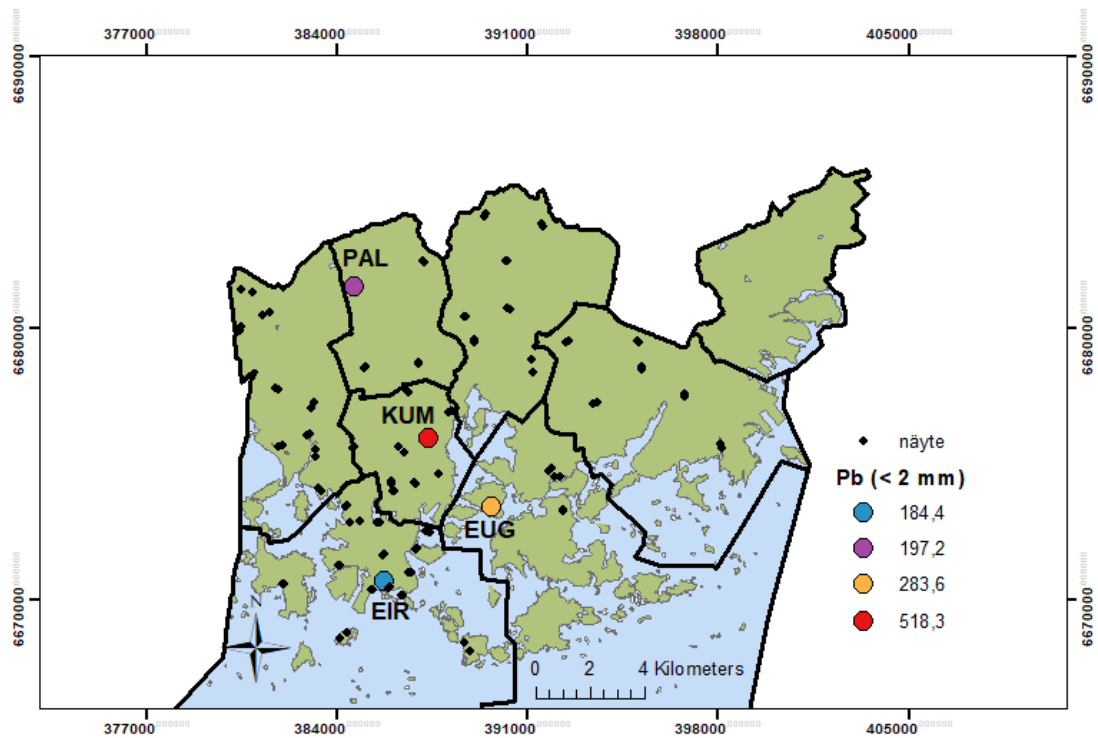
Suurpiiri	Mediaani (Ni)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	8,7	22
Itä	6,8	12
Kaakkoinen	10,1	8
Keski	9,1	19
Koillinen	13,3	14
Länsi	11,3	18
Pohjoinen	11,1	8
Saaret	4,7	8

Hienoaineksessa nikkelin kynnysarvo ylitetään ainoastaan Malminkartanonhuipulla (MAL1 50,9 ppm). Seuraavaksi korkeimmat pitoisuudet ovat Laamanninpuistossa (LAA2 38,4 ppm), Haaganpuistossa (HAA1 34,7 ppm), Hiidenkivenpuistossa (HII1 28,3 ppm) ja Porolahdenpuistossa (POR1 27,6 ppm). MAL1-, HAA1- ja LAA2 -näytteissä on myös korkeita pitoisuuksia < 2 mm:n raekoossa, mutta MAL1 -näyte ei erotu niin selvästi muista kuin hienoaineksessa.

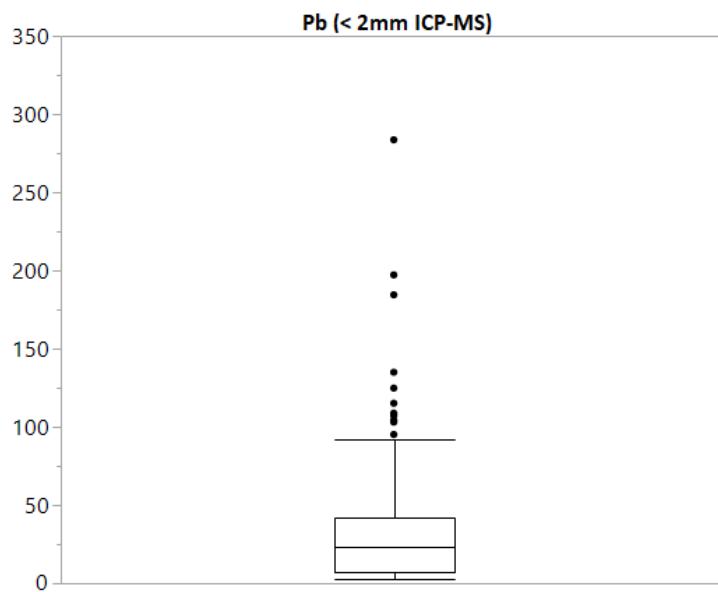
### 6.3.7 Lyijy

Lyijyn kynnysarvo on 60 ppm, mutta taustapitoisuus 160 ppm korvaa Helsingin puistoissa kynnysarvon (Tarvainen et al. 2013). Lyijyn taustapitoisuus ylitetään Paloheinänhuipulla (PAL1 197,2 ppm) ja Eiran puistossa (EIR2 184,4 ppm), minkä lisäksi alempi ohjearvo 200 ppm ylitetään Kuntähdenkentällä KUM3 (518,3 ppm) ja Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 283,6 ppm) (Kuva 61). Lyijyn alempi ohjearvo on määriteltä terveysriskien perusteella, eli ohjearvon ylitystä voidaan pitää ekologisen riskin lisäksi myös terveydelle haitallisena (VN 214/2007). Alle 2 mm:n raekoossa näytteiden lyijypitoisuus on yleisesti 7,4–41,9 ppm:n välillä ja mediaani on 23,0 ppm, eli pitoisuudet ovat muuten alhaiset (Kuva 62). Korkein suurpiirien mediaani on Etelä-Helsingissä, kun puolestaan alhaisin on Itä-Helsingissä (Taulukossa 22). Etelä-Helsingin korkea mediaani johtuu luultavasti kaupunkiympäristöstä, josta lyijypäästöjä tulee ympäristöön. Etelä-Helsingissä mediaani on 50 ppm, eli pitoisuus on sama kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 51 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä lyijypitoisuus on 46 ppm, Paloheinässä 57 ppm ja Töölönlahdella 8 ppm. Tässä tutkimuksessa Töölönlahden puiston lyijypitoisuudet (4 ppm, 3 ppm) vastaavat hyvin Hatakka et al. (2010a) tuloksia. Munkinpuistossa (6 ppm, 92 ppm) ja Paloheinänhuipulla (197 ppm, 7 ppm) pitoisuudet eivät puolestaan vastaa Hatakka et al. (2010a) pitoisuuksia.





**Kuva 61.** Lyijypitoisuudet (ppm) taustapitoisuuden ja alemman ohjearvon ylittävissä näytteissä.



**Kuva 62.** Näytteiden (n=109) lyijypitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa. Laatikkokuvaaja on rajattu 350 ppm:n, eli KUM3 -näyte (518 ppm) jää rajauksen ulkopuolelle.

**Taulukko 22.** Lyijypitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

Suurpiiri	Mediaani (Pb)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	50,4	22
Itä	6,0	12
Kaakkoinen	15,6	8
Keski	27,9	19
Koillinen	19,3	14
Länsi	22,0	18
Pohjoinen	35,5	8
Saaret	19,9	8

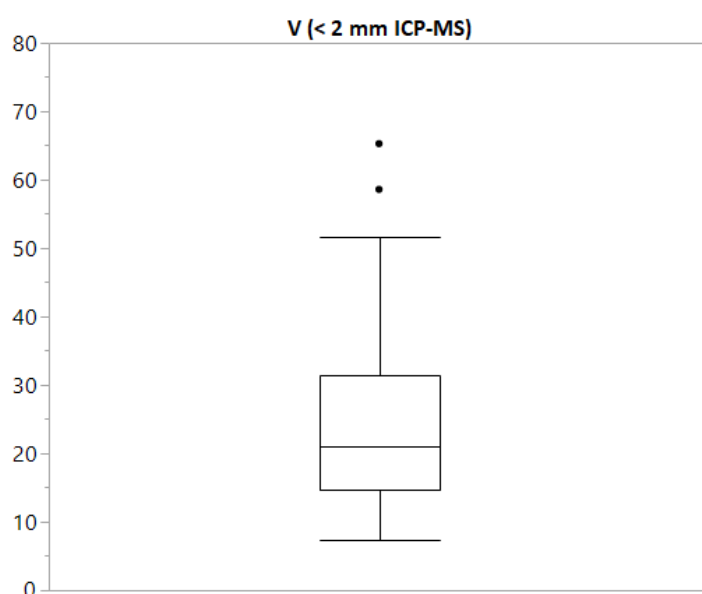
Hienoaineksessa lyijyn kynnysarvo ylitetään Vanhassa kirkkopuistossa (VAN1 167,8 ppm), Tove Janssonin puistossa (TOV2 175,7 ppm), Hesperian esplanadilla (HES2 177,8 ppm), Malminkartanonhuipulla (MAL2 185,2 ppm) ja Uunisaarella (UUN1 187,6 ppm). Alempi ohjearvo ylitetään Eiran puistossa (EIR1 221,3 ppm, EIR2 407,1 ppm), Paloheinänhuipulla (PAL1 304,1 ppm) Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 309,1 ppm) ja Kuntähten kentällä (KUM3 620,0 ppm). Ohjearvoja ylittävissä puistoissa myös < 2 mm:n raekoissa on korkeita pitoisuuksia, eli raekoot vastaavat hyvin toisiaan näiden puistojen osalta.

Alle 2 mm:n raekoissa korkeimmat lyijypitoisuudet pXRF-laitteella on näytteillä, jotka sijaitsevat Kuntähten kentällä (KUM3 596,9 ppm), Paloheinänhuipulla (PAL1 295,7 ppm), Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 290,3 ppm) ja Eiran puistossa (EIR2 218,4 ppm, EIR1 150,7 ppm). ICP-MS- ja pXRF-tuloksissa korkeimmat lyijypitoisuudet ovat siis samoilla näytteillä, joten pXRF-laitte soveltuu hyvin näytteiden lyijypitoisuuksien mittaamiseen puistojen maaperän orgaanisessa pintakerroksessa.

### 6.3.8 Vanadiini

Vanadiinin kynnysarvo on 100 ppm, eikä sitä ylitetä yhdessäkään < 2 mm:n raekokonäytteessä. Korkeimmat vanadiinipitoisuudet ovat Haaganpuistossa (HAA1 65,3 ppm), Laamannipuistossa (LAA2 58,6 ppm), Hesperian esplanadilla (HES1 51,7 ppm) ja Piianpuistossa (PII1 51,3 ppm). Näytteiden vanadiinipitoisuus < 2 mm:n raekoissa on jakautunut 14,6–31,4 ppm:n välille ja mediaani on 21,1 ppm, eli pitoisuudet pysyvät selvästi alle kynnysarvon (Kuva 63). Koillis- ja Pohjois-Helsingissä on korkeimmat mediaanit kuin muissa suurpiireissä, kun puolestaan alhaisimmat

mediaanit on Itä-Helsingissä ja Helsingin edustan saarilla (Taulukko 23). Etelä-Helsingissä mediaani on 21 ppm, eli se on alhaisempi kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 35 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä vanadiinipitoisuus on 38 ppm, Paloheinässä 31 ppm ja Töölönlahdella 98 ppm. Tässä tutkimuksessa Töölönlahden puistossa vanadiinipitoisuudet (16 ppm, 17 ppm) ovat selvästi alhaisemmat kuin Hatakka et al. (2010a) tuloksissa. Paloheinänhuipun PAL2 -näyte (19 ppm) ja Munkinpuiston MUN2 -näyte (41 ppm) vastaavat hyvin Hatakka et al. (2010a) pitoisuuksia.



**Kuva 63.** Näytteiden (n=109) vanadiinipitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa.

**Taulukko 23.** Vanadiinipitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

Suurpiiri	Mediaani (V)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	21,0	22
Itä	15,9	12
Kaakkoinen	19,7	8
Keski	20,0	19
Koillinen	31,1	14
Länsi	25,9	18
Pohjoinen	30,2	8
Saaret	12,3	8

Vanadiinin kynnysarvoa ei ylitetä myöskään hienoaineksessa. Korkeimmat pitoisuudet ovat Haaganpuistossa (HAA1 55,3 ppm), Mansikkamäessä (MAN1 53,4 ppm), Laamannipuistossa (LAA2 51,4 ppm, LAA1 49,2 ppm) ja Säveltäjänpuistossa (SÄV1 49,9 ppm). Vain Laamannipuistossa ja Haaganpuistossa kummassakin raekoossa on korkeimpia vanadiinipitoisuuksia, eli hienoaineksen korkeimmat pitoisuudet vastaavat huonosti < 2 mm:n korkeita pitoisuuksia

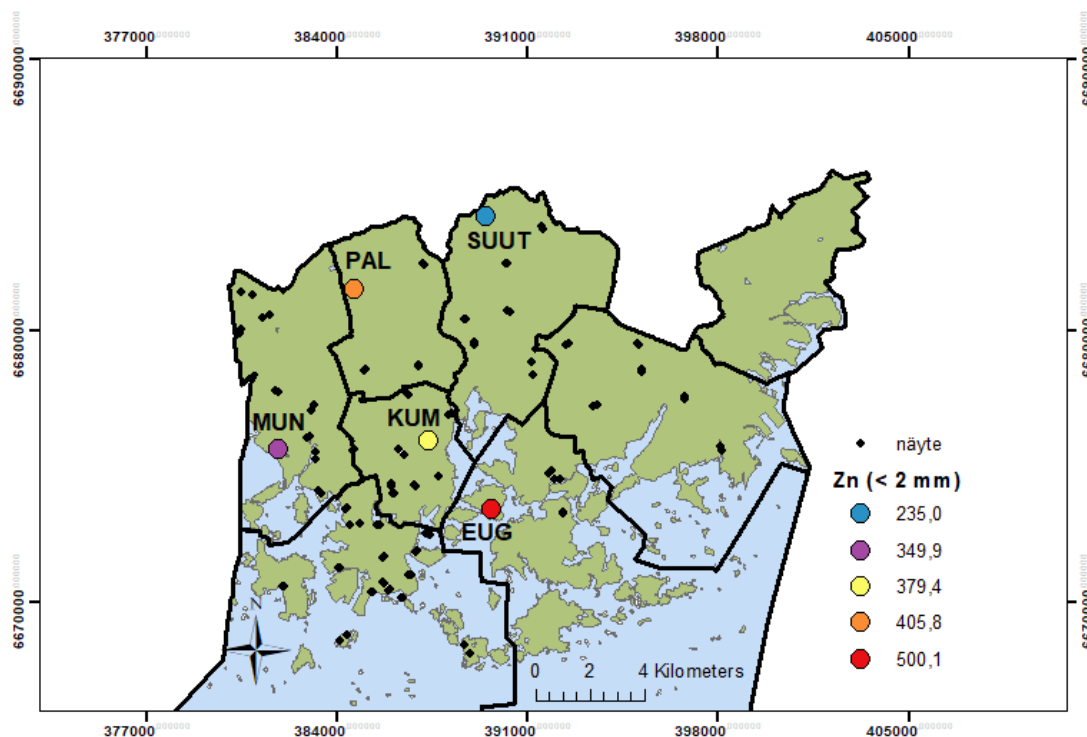
Alle 2 mm:n raekoossa korkeimmat vanadiinipitoisuudet määritettynä pXRF-laitteella on näytteillä, jotka sijaitsevat Malminkartanonhuipulla (MAL1 175,5 ppm), Haaganpuistossa (HAA1 116,6 ppm), Laamannipuistossa (LAA1 115,1 ppm, LAA2 107,9 ppm) ja Filpuksenpuistossa (FIL1 105,4 ppm). Molemmissa menetelmissä korkeita vanadiinipitoisuuksia on HAA1- ja LAA2 -näytteissä, mutta esimerkiksi MAL1 -näytteen korkeaa pitoisuutta pXRF:ssä ei havaita ICP-MS:llä. pXRF-laite soveltuu huonosti näytteiden vanadiinipitoisuuksien mittaamiseen puistojen orgaanisessa pintakerroksessa.

#### 6.3.9 Sinkki

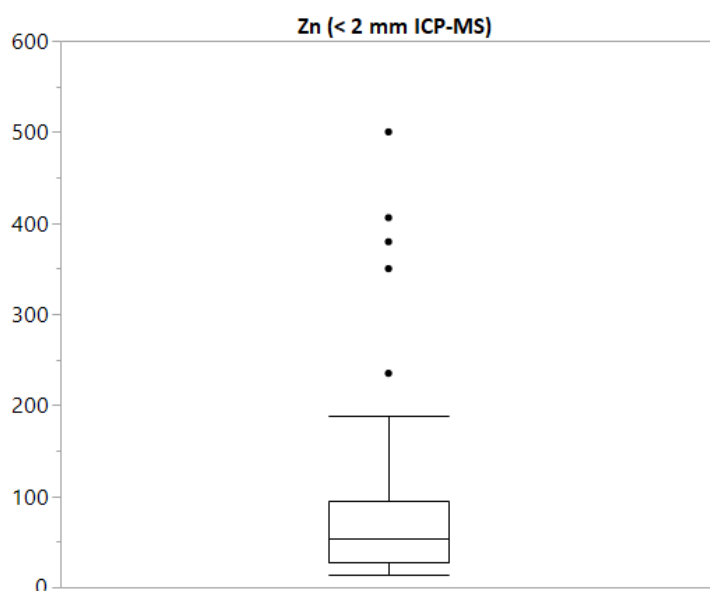
Sinkin kynnysarvo 200 ppm korvautuu taustapitoisuudella, joka on Helsingin puistoissa 219 ppm (Tarvainen et al. 2013). Sinkin taustapitoisuus ylittyy Suutarilanpuistossa (SUUT1 235,0 ppm) ja alempi ohjearvo 250 ppm ylitetään Kuntähdenkentällä (KUM3 379,4 ppm) ja Munkinpuistossa (MUN2 349,9 ppm) (Kuva 64). Ylempi ohjearvo 400 ppm ylitetään puolestaan Paloheinänhuipulla (PAL1 405,8 ppm) ja Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 500,1 ppm) (kuva 64). Alle 2 mm:n raekoossa näytteiden sinkkipitoisuus on yleisesti 27,5–94,6 ppm ja mediaani on 54,2 ppm, eli pitoisuudet ovat pääasiassa alhaiset (Kuva 65).

Korkein sinkkipitoisuuden mediaani on Pohjois-Helsingissä, kun puolestaan alhaisimmat mediaanit ovat Itä-Helsingissä ja Helsingin edustan saarilla (Taulukko 24). Etelä-Helsingissä mediaani on 64 ppm, eli se on alhaisempi kuin Salla (2009) tutkimuksessa, jossa mediaani oli 82 ppm. Hatakka et al. (2010a) mukaan Munkkiniemessä sinkkipitoisuus on 96 ppm, Paloheinässä 140 ppm ja Töölönlahdella 55 ppm. Tässä tutkimuksessa Töölönlahden puiston sinkkipitoisuudet olivat kummassakin näytteessä alhaisempi (22 ppm, 21 ppm) kuin Hatakka et al. (2010a)

tuloksissa. Munkinpuistossa (20 ppm, 350 ppm) ja Paloheinänhuipulla (406 ppm, 33 ppm) pitoisuudet eivät vastaa Hatakka et al. (2010a) pitoisuuksia, sillä sinkkipitoisuudet ovat liian korkeat tai alhaiset.



**Kuva 64.** Sinkkipitoisuudet (ppm) taustapitoisuuden ja ohjearvojen ylittävissä näytteissä.



**Kuva 65.** Näytteiden (n=109) sinkkipitoisuuksien (ppm) jakauma < 2 mm:n raekoossa.

**Taulukko 24.** Sinkkipitoisuuden (ppm) mediaanit Helsingin eri suurpiireissä.

Suurpiiri	Mediaani (Zn)	Näytteiden lukumäärä
Etelä	63,9	22
Itä	33,6	12
Kaakkoinen	47,4	8
Keski	65,0	19
Koillinen	73,2	14
Länsi	72,8	18
Pohjoinen	87,2	8
Saaret	26,0	8

Hienoaineksessa sinkin taustapitoisuus ylitetään Hilapellossa (HIL2 233,5 ppm) sekä alempi ohjearvo Eiran puistossa (EIR1 264,4 ppm, EIR2 398,7 ppm), Mansikkamäessä MAN1 (286,8 ppm), Suuntimopuistossa (301,1 ppm) ja Munkinpuistossa (MUN2 323,3 ppm). Ylempi ohjearvo ylitetään Kuntähdenkentällä (KUM3 472,1 ppm), Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 592 ppm) ja Paloheinänhuipulla (PAL1 611,1 ppm). Ylemmän ohjearvon ylittävät puistot vastaavat hyvin < 2 mm:n raekoko tuloksiin.

Alle 2 mm:n raekoossa korkeimmat sinkkipitoisuudet pXRF-laitteella on näytteillä, jotka sijaitsevat Paloheinänhuipulla (PAL1 733,6 ppm), Eugen Schaumanin puistossa (EUG1 638,2 ppm), Kuntähdenkentällä (KUM3 584,9 ppm), Munkinpuistossa (MUN2 384,2 ppm) ja Eiran puistossa (EIR2 290,2 ppm). ICP-MS- ja pXRF-tuloksissa korkeimmat sinkkipitoisuudet ovat pääasiassa samoilla näytteillä, joten pXRF-laite soveltuu hyvin näytteiden sinkkipitoisuuksien mittaamiseen puistojen orgaanisessa pintakerroksessa.

### 6.3.10 Muita havaintoja

Alhaisia metallipitoisuuksia löytyi Etelä-Helsingin puistoista Fredrik Stjernvallin puistosta, Pyhän Birgitan puistosta ja Töölönlahden puistoista. Puistot ovat nuoria tai vasta kunnostettuja, joten alhaiset pitoisuudet voivat johtua siitä (Myllys et al. 2007, Koivisto 2016). Itä-Helsingissä alhaisia pitoisuuksia oli puolestaan Ilveskorvenpuiston näytteessä ILV2 ja Paukkulanpuiston näytteessä PAU2. Ainakin PAU2 -näytteessä alhaiset pitoisuudet johtuvat maa-aineksen koostumuksesta, joka on hiekka. Hiekassa metallipitoisuudet ovat alhaisemmat kuin savissa (Tarvainen et al. 2003, Tarvainen et al. 2006).

Kaakkois-Helsingissä alhaisia pitoisuuksia oli Kiiltomadonpuistossa ja Kirsikkapuistossa. KIR1 -näytteessä on ollut multaa ja hiekkaa, kun puolestaan KIR2 -näyte on koostunut hiekasta, eli alhaiset pitoisuudet johtuvat Kirsikkapuistossa maa-aineksesta. Helsingin keski-osassa alhaisia pitoisuuksia oli Agroksenmäellä ja Dallapenpuistossa, joista Agroksenmäen näytteet koostuivat ainakin osaksi hiekasta. Dallapenpuisto on puolestaan rakennettu 2008, eli se on nuori puisto (Rantalainen 2018). Koillis-Helsingissä alhaisia pitoisuuksia oli Viikinojanpuistossa, jossa näytteet koostuivat hienosta hiekasta ja karkeasta hiekasta, eli alhaiset pitoisuudet johtuvat maa-aineksesta.

Länsi-Helsingissä alhaisia pitoisuuksia oli Strömbergin puistossa ja Munkinpuiston MUN1 -näytteessä. Strömbergin puisto on valmistunut vuonna 2002, joten se on nuori puisto, kun puolestaan MUN1 -näytteen alhaiset pitoisuudet johtuvat hiekasta (Nummi 2010). Pohjois-Helsingissä alhaisia pitoisuuksia oli Sorsapuistossa ja Paloheinänhuipun PAL2 -näytteessä, joissa alhaiset pitoisuudet eivät ainakaan johdu näytteen aineksesta (kaikissa multaa). Helsingin edustan saarilla alhaisimmat pitoisuudet oli näytteillä Pihlajasaaren PIH1 ja Vallisaaren VALLI1 näytteissä, joista ainakin VALLI1:ssä on näytteessä ollut vähän hiekkaa.

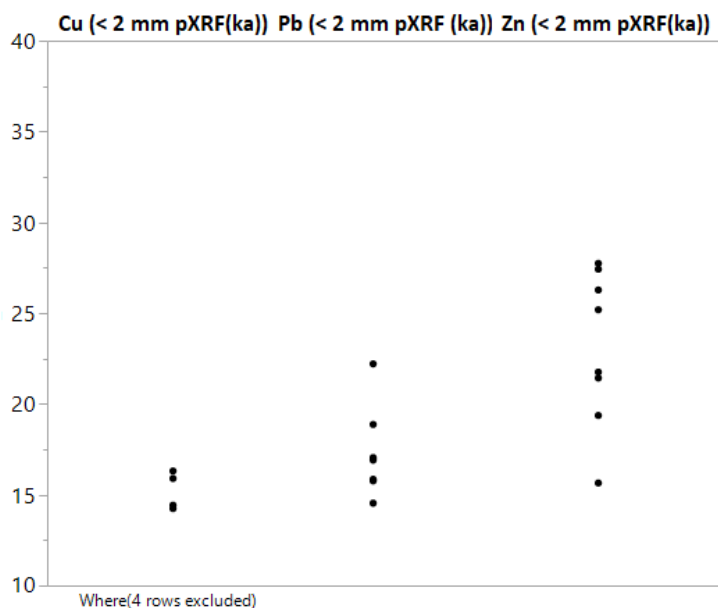
Luvussa 2.2 esiteltiin muutamia puistoja joissa on ollut maaperää likaavia tekijöitä ja joita on aikaisemmin kunnostettu. Tässä tutkimuksessa, lukuun ottamatta Eiran puistoa, pitoisuudet olivat alle tutkittujen metallien kynnysarvon tai taustapitoisuuden. Eiran puistossa ylitettiin yhdessä näytteessä lyijyn taustapitoisuus.

#### *6.3.11 Uimarantanäytteiden metallipitoisuudet*

Uimaranta näytteet mitattiin pXRF-laitteella, joka antaa korkeammat As-, Cr-, Cu-, Pb-, V- ja Zn-pitoisuudet kuin ICP-MS (kts. luku 6.2). pXRF-laitteen todettiin myös soveltuvan hyvin lyijy-, sinkki- ja kuparipitoisuuksien mittaamiseen, joten näiden aineiden tuloksia voidaan tulkita (luku 6.2). Uimarantanäytteiden arseeni- ja kromipitoisuudet olivat < 2 mg/kg raekoossa alle pXRF-laitteen määrittäysrajan, joten pitoisuuksia näytteille ei saatu. Näytteiden kupari-, lyijy- ja sinkkipitoisuudet ovat < 2 mg/kg raekoossa selvästi alle kuparin kynnysarvon, sekä lyijyn ja sinkin

taustapitoisuuden. Näytteiden lyijypitoisuudet ovat 18,9 – 15,8 ppm:n välillä ja mediaani on 17 ppm (Kuva 66). Korkeimmat lyijypitoisuudet ovat Lauttasaaren uimarannalla (LRANTA2 22,2 ppm) ja Aurinkolahden uimarannalla (VRANTA 1 18,9 ppm). Tuorinniemen uimarannan näytteessä HRANTA2 pitoisuudet ovat hiukan alemmat kuin muissa, mutta muuten näytteiden välillä ei ole suuria pitoisuuseroja.

Näytteiden sinkkipitoisuudet ovat 27,1 – 19,9 ppm välillä ja mediaani on 23,5 ppm (Kuva 66). Korkeimmat pitoisuudet ovat Lauttasaaren uimarannalla (LRANTA2 27,7 ppm) ja Tuorinniemen uimarannalla (HRANTA1 27,4 ppm). Neljän uimarannan välillä ei ole suuria pitoisuuseroja. Kuparipitoisuudet jäävät puolestaan neljässä näytteessä alle pXRF-laitteen määrittämissä, mutta muissa näytteissä kuparipitoisuudet ovat 16,2 – 14,3 ppm välillä ja mediaani on 15,2 ppm (kuva 66). Korkeimmat pitoisuudet ovat Aurinkolahden uimarannalla (VRANTA 1 16,3 ppm) ja Tuorinniemen uimarannalla (HRANTA 1 15,9 ppm). Uimarantojen välillä ei ole suuria kuparipitoisuuseroja.



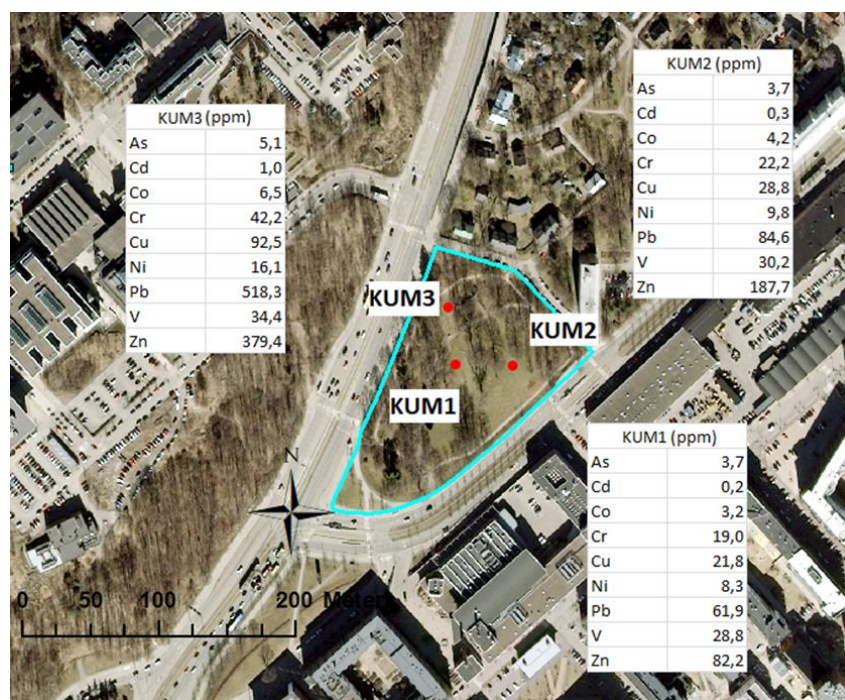
**Kuva 66.** Uimarantanäytteiden kupari-, lyijy- ja sinkkipitoisuuksien jakauma. Yksikkönä ppm ja kuparissa neljä näytettä jäänyt alle määrittämissä. Lyijyssä ja sinkissä n=8.



## 6.4 Alemman ja ylemmän ohjearvon ylittävät kohteet

### 6.4.1 Kumtähdenkenttä

Kumtähdenkentältä otettiin kolme maaperänäytettä, joista KUM3 -näyte sisälsi alemman ohjearvon ylittäviä lyijy- ja sinkkipitoisuuksia ja kadmiumpitoisuus oli kynnysarvon kohdalla (Kuva 67). Muissa Kumtähdenkentän näytteissä (KUM1, KUM2) pitoisuudet ovat alhaisemmat, joten pilaantuminen on puistossa paikallinen eikä koko puiston laajuinen. KUM1 ja KUM2 -näytteissä pitoisuudet ovat samanlaisia, lukuun ottamatta sinkkiä ja lyijyä, jotka ovat korkeampia KUM2 -näytteessä. KUM2- ja KUM3 -näytteet sijaitsevat Kustaa Vaasan tien ja Hämeentien läheisyydessä, joten KUM1 -näytteen alhaisemmat pitoisuudet voivat johtua näytteenottopaikan sijainnista keskellä puistoa. Liikenteestä ympäristöön pääsee mm. raskasmetalleja, ravinteita, orgaanisia yhdisteitä ja liukkaudentorjunta-aineita (Jokela 2008).



Kuva 67. Kumtähdenkentän näytteenottopaikat ja näytteiden pitoisuudet.

Maaperän pilaantumiseen KUM3 -näytteen kohdalla voi olla useita syitä, kuten Arabianrannan teollisuushistoria tai täyttömaa-aines. Arabianrannan maaperätutkimuksissa 1990- ja 2000-luvuilla löytyi korkeita sinkki-, kupari- ja lyijypitoisuuksia (Uudenmaan ympäristökeskus 2005b). KUM3 -näytteessä

kuparipitoisuudet jäävät alle kynnysarvon, mutta sinkki- ja lyijypitoisuudet ovat korkeat. Kahdessa muussa näytteessä kupari-, sinkki- ja lyijypitoisuudet ovat kuitenkin alhaisia, joten osa puistosta on mahdollisesti puhdistettu tai pilaantuminen voi johtua jostain muusta. Näytteenotossa ilmeni, että KUM3 -näytteen maa-aineksen koostumus oli mustaa multaa, kun puolestaan KUM1- ja KUM2 -näytteissä aines oli ruskeaa multaa (Liite 1). KUM3 -näytteessä oleva multa on voitu tuoda muualta, jolloin maa-aines on voinut olla valmiiksi pilaantunutta tai KUM1- ja KUM2 -näytteiden kohdalta maaperä on aikaisemmin puhdistettu.

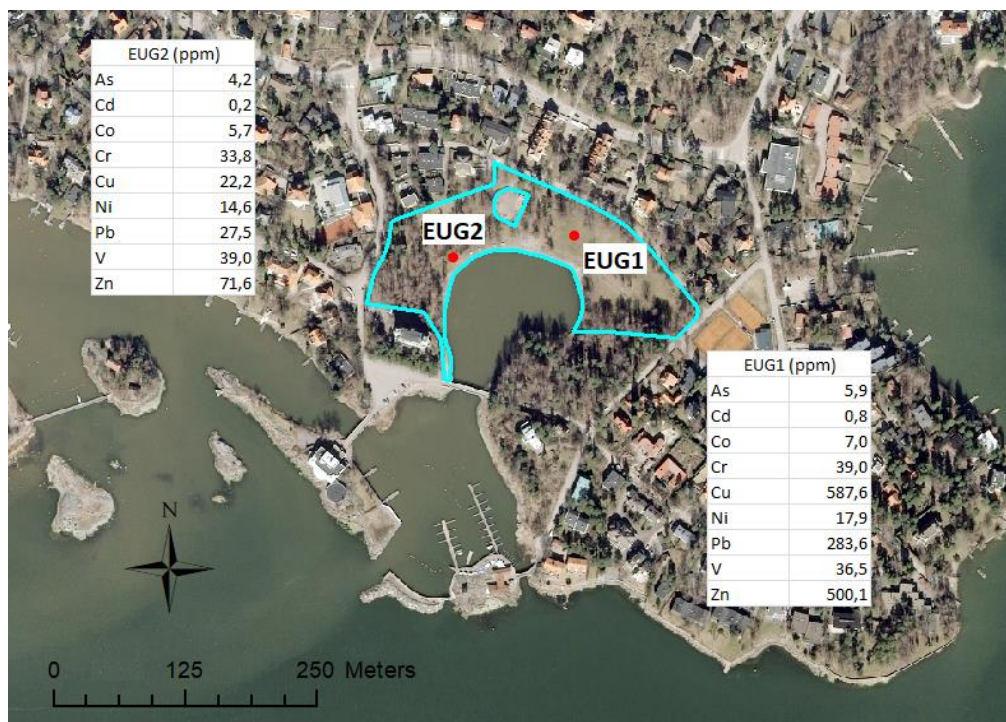
KUM3-näytteenottopaikka sijaitsee rinteessä ja rinteiden yläpuolella on Kustaa Vaasan tie, joka on selvästi korkeammalla kuin Kumtähdenkenttä (Kuva 68). Hulevedet voivat rankkasateiden aikana valua alas Kustaa Vaasan tieltä Kumtähdenkentälle. Maantiehulevesissä yleisiä metalleja ovat kadmium, kromi, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki, jotka ovat peräisin autoista ja tienpäälysteistä (Jokela 2008). Aineiden pitoisuuksiin maantiehulevesissä vaikuttaa maantien liikennemäärä (Jokela 2008). Kustaa Vaasan tiellä liikennemäärä on suuri, joten KUM3 -näytteen korkeat sinkki- ja lyijypitoisuudet voivat johtua puistoon valuvista hulevesistä. Maaperän lyijypitoisuudet ovat Suomessa laskeneet sen jälkeen kun lyijy kiellettiin bensiinissä 1990-luvulla, mutta Kumtähdenkentän maaperän lyijypitoisuudet ovat voineet syntyä ennen 1990-lukua (Jokela 2008).



**Kuva 68.** Kumtähdenkentän korkeuskäyrä (kartta.hel.fi).

#### 6.4.2 Eugen Schaumanin puisto

Eugen Schaumanin puistosta otetussa EUG1 -näytteessä on korkeita sinkki-, kupari- ja lyijypitoisuuksia (Kuva 69). EUG1 -näytteessä ylitetään lyijyn alempi ohjearvo sekä kuparin ja sinkin ylempi ohjearvo. EUG1 -näytteessä kuparia on 588 ppm, eli näytteessä on melkein kolminkertainen määrä kuparia kuin ylemmän ohjearvon raja-arvossa (200 ppm). Puolestaan sinkkipitoisuus EUG1 -näytteessä on 500 ppm ja se ylittää sinkin ylemmän ohjearvon 100 ppm:llä ja näytteen lyijypitoisuus 284 ppm ylittää lyijyn alemman ohjearvon 84 ppm:llä. Muissa tutkituissa aineissa EUG1 -näytteen pitoisuudet eivät erotu muista Kaakkois-Helsingin näytteiden pitoisuuksista. EUG2 -näytteessä pitoisuudet ovat alhaiset, eli Eugen Schaumanin puiston pilaantuneisuus on paikallista eikä kosketa koko puiston aluetta. Puiston maaperä on täyttömaata, joten yksi mahdollinen syy korkeille pitoisuuksille voi olla muualta tuodussa täyttömaassa (Rakennusvirasto 2010).

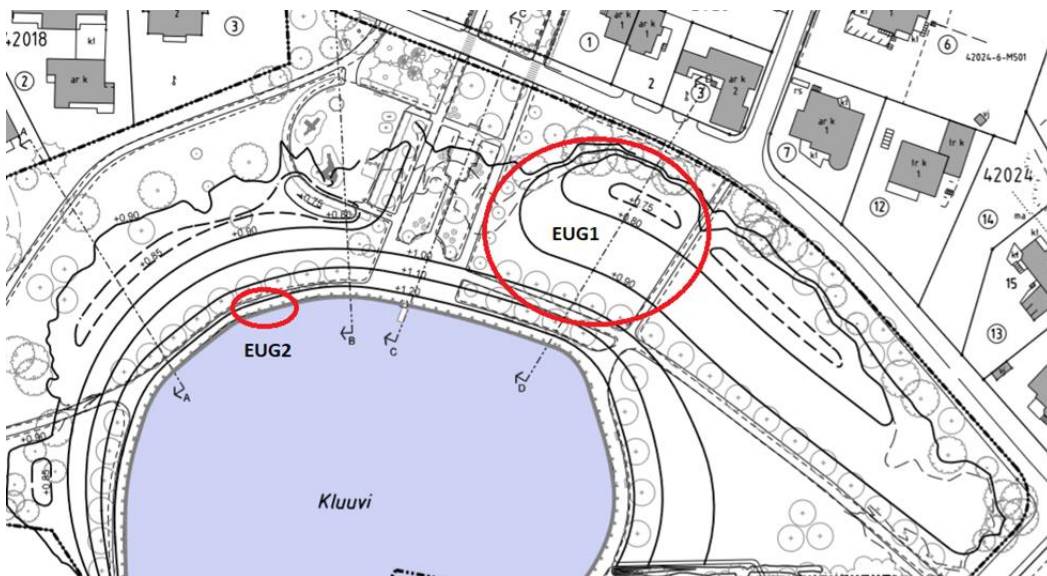


**Kuva 69.** Eugen Schaumanin puiston näytteenottoaikat ja näytteiden pitoisuudet.

Eugen Schaumanin puistossa on ollut ongelmia hulevesien ja meriveden kanssa, etenkin puiston matalat kohdat ovat kärsineet meriveden tulvimisesta puistoon (Rakennusvirasto 2010). EUG1 -näyte sijaitsee puiston matalassa kohdassa, kun puolestaan EUG2 -näyte sijaitsee korkeammalla maalla (Kuva 70). Näytteiden pitoisuuserot johtuvat



mahdollisesti näytteenottopaikkojen korkeuserosta. Pienveneiden pohjamaaleissa on metalleja, joista meriveteen liukenee etenkin sinkkiä ja kuparia (Haaksi et al. 2017). Pienveneiden pohjaan voidaan myös sijoittaa sinkistä tehtyjä anodeja (Kuva 71). EUG1 -näytteessä kupari- ja sinkkipitoisuudet ovat korkeat, joten pilaantuminen saattaisi johtua merivedestä. Vaitomaa et al. (2010) on listannut Helsingissä riskikohteita, jotka aiheuttavat pilaantumisen vaaran meriveden tulvimisen aikana, ja lähellä Eugen Schaumanin puistoa on riskikohteiksi merkitty kaksi Mansikkamäessä sijaitsevaa telakkaa. Puiston vieressä sijaitsee myös pienveneiden satama (Kuva 69).



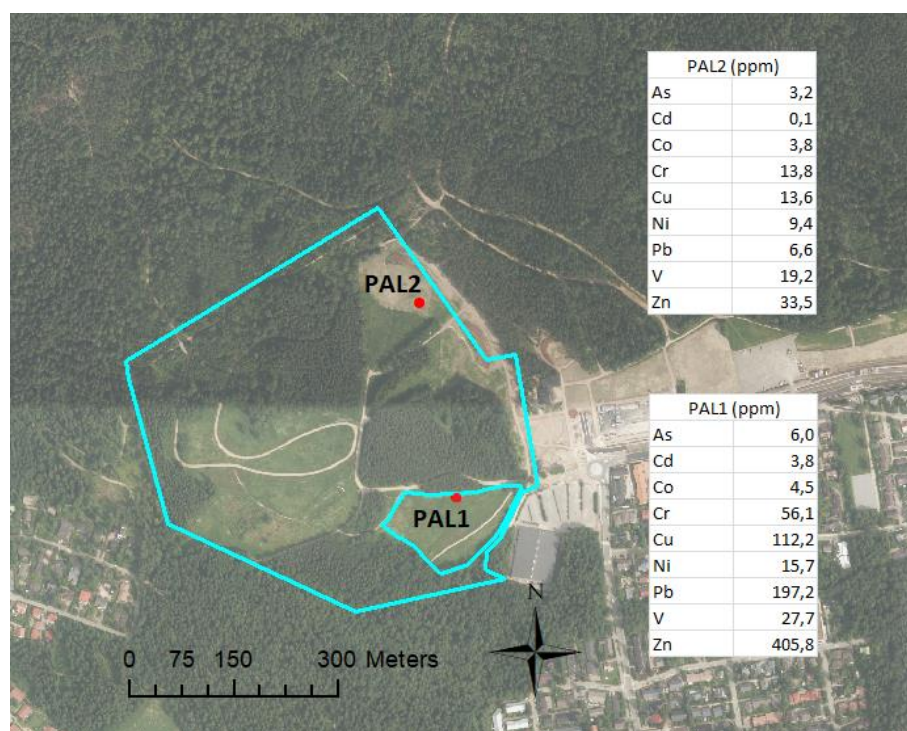
**Kuva 70.** Näytteenottopaikat ja maaperän korkeus merenpinnasta (Rakennusvirasto 2010).



**Kuva 71.** Veneessä käytettävä sinkkianodi. Ylhäällä uusi osa ja alhaalla käytetty.

### 6.4.3 Paloheinänhuippu

Pohjois-Helsingissä sijaitseva Paloheinänhuippu on yli 60 metriä korkea täyttömäki, jota käytetään ulkoilualueena, ja esimerkiksi talvisin mäenrinne toimii pulkkamäkenä (Laurinen ja Vertainen 2004). Paloheinänhuipulta otettiin näytteet PAL1 ja PAL2, joista PAL1 -näytteessä havaittiin korkeita kupari-, sinkki-, kadmium- ja lyijypitoisuuksia, kun puolestaan PAL2 -näytteessä pitoisuudet olivat alhaisemmat (Kuva 72). PAL1 -näytteen pitoisuudet ylittävät lyijyn taustapitoisuuden (160 ppm), kuparin ja kadmiumin kynnysarvon (100 ppm ja 20 ppm) ja sinkin ylemmän ohjearvon (400 ppm) (Kuva 72). Erot PAL1- ja PAL2 -näytteiden pitoisuuksissa voivat johtua näytteenotto paikasta, sillä PAL1 -näyte on otettu täyttömäen rinteestä, kun puolestaan PAL2 -näyte on otettu täyttömäen vierestä.



**Kuva 72.** Paloheinänhuippu. Näytteenotto paikat ja näytteiden pitoisuudet.

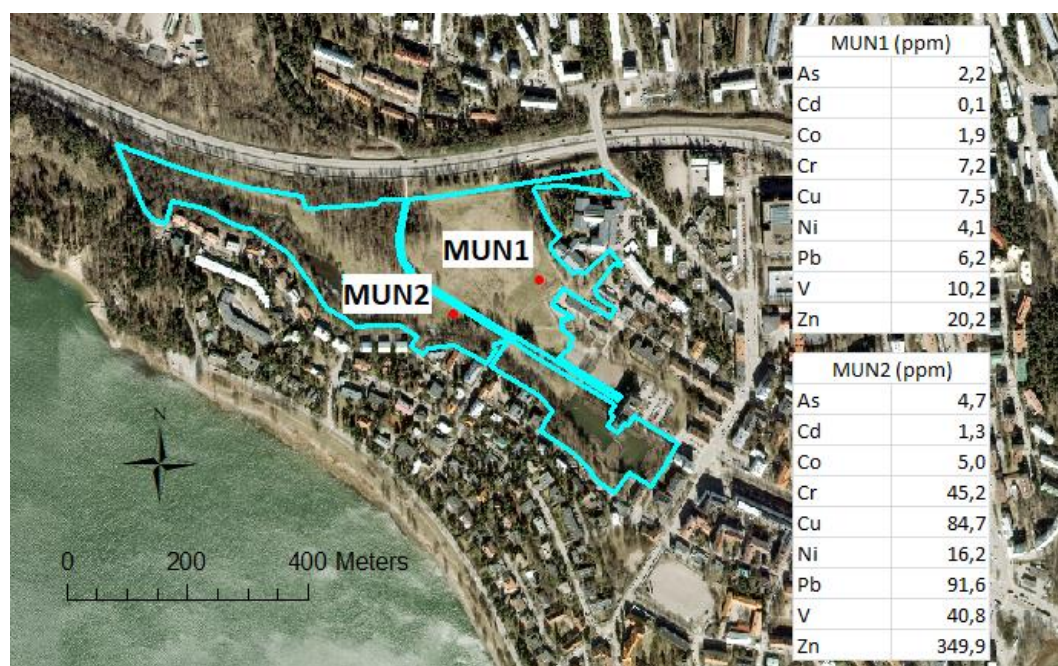
Paloheinänhuippu on Helsingin vanhin täyttömäki ja se on rakennettu ylijäämämassoista, jotka ovat syntyneet rakennustoiminnasta (Immonen 2001). 1960- ja 1970-luvulla täyttömäen huipulle sijoitettiin myös lentotuhkaa kaatopaikkatäyttönä (Ruotsalainen 1998). Kivihiilen pölypoltossa syntyvä lentotuhka on kevyttä ja hienojakoista tuhkaa, joka voi sisältää kynnys- ja ohjearvoja ylittäviä pitoisuuksia



raskasmetalleja (Mäkelä et al. 1998). Paloheinänhuippu on luokiteltu sijainti- ja ominaisuusriskin perusteella kohtalaiseksi (Immonen 2010). Voidaan siis olettaa, että Paloheinänhuipulle tuodut ylijäämämassat ja lentotuhkat aiheuttavat PAL1 -näytteessä havaitut korkeat pitoisuudet. PAL2 -näytteen alhaiset pitoisuudet viittaavat myös siihen, etteivät haitta-aineet ole levinneet täyttömäen ulkopuolella olevaan pintamaa-ainekseen, ainakaan PAL2-näytteenottopaikassa.

#### 6.4.4 Munkinpuisto

Munkinpuisto on suosittu ulkoilualue ja sen maaperä koostuu savesta, jonka päälle on läjitetty 1–3 metriä täyttömaata (Holstein et al. 2010). Munkinpuistosta otetussa MUN2 -näytteessä kadmiumpitoisuus ylittää kynnsarvon ja sinkkipitoisuus alemman ohjearvon, mutta muissa aineissa pitoisuudet pysyvät alhaisina (Kuva 73). MUN1 -näytteessä pitoisuudet ovat puolestaan alhaisemmat kaikissa mitatuissa aineissa, joten koko puiston maaperä ei ole pilaantunutta. Näytteiden eri pitoisuudet voivat johtua aineksen koostumuksesta, sillä MUN2 -näytteessä on enemmän savea kuin MUN1:ssä, minkä lisäksi yhdessä MUN1-näytteenottokuopassa oli hiekkaa. Maa-aineksen koostumuksen on todettu vaikuttavan metallien pitoisuuteen, sillä esimerkiksi hiekassa pitoisuudet ovat alhaisemmat kuin savessa (Tarvainen et al. 2003, Tarvainen et al. 2006).

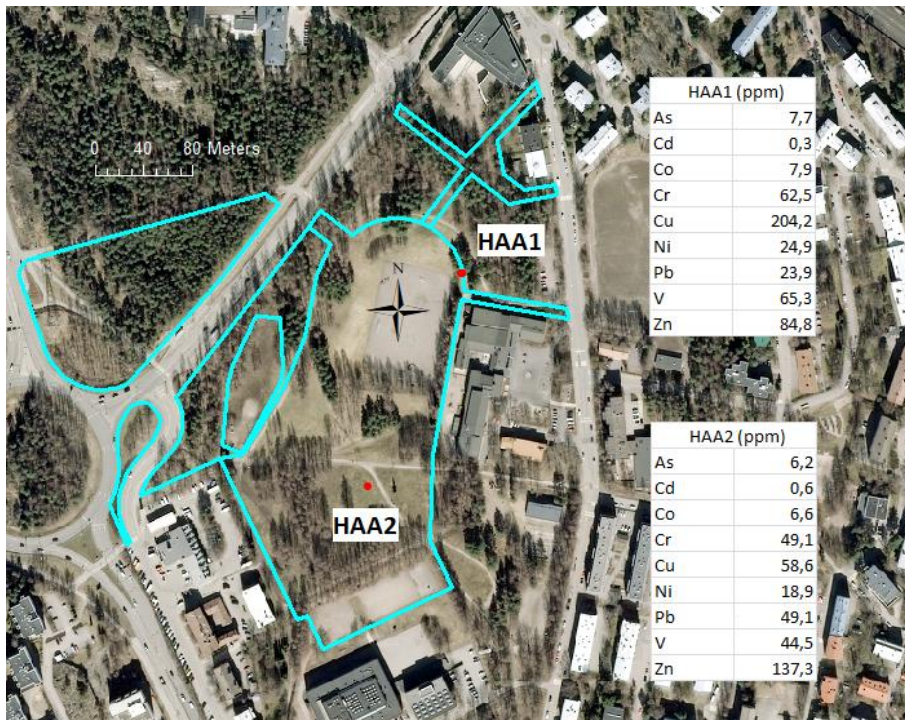


**Kuva 73.** Munkinpuiston näytteenottopaikat ja näytteiden pitoisuudet.

Munkinpuiston vieressä on 1700-luvulla ollut tiilitehdas, mutta muuten puiston ympärillä on ollut asuintaloja ja toimistotiloja (Holstein et al. 2010). Ainoa likaava tekijä on puiston vieressä sijaitseva Turunväylä, josta voisi puistoon tulla metalleja (Kuva 73). Munkinpuiston maaperä koostuu täyttömaasta, joten maa-aines on voinut olla jo valmiiksi pilaantunut. Holstein et al. (2010) mukaan Munkinpuiston pohjoisosassa ongelmia aiheuttaa vuotuinen kosteikon tulviminen puiston käytäville, mutta tuskin kosteikon tulviminen on syy MUN2 -näytteen korkeisiin sinkki- ja kadmiumpitoisuuksiin. Munkinpuiston kahden lammen pohjasta on otettu sedimenttinäyte ja tulosten perusteella sinkkipitoisuus on molempien lampien näytteessä n. 220 ppm (Marttila 2007).

#### *6.4.5 Haaganpuisto*

Toinen Länsi-Helsingissä sijaitseva puisto on Haaganpuisto, jonka maaperän pintaosa koostuu täyttömaasta, ja puistossa on paljon avoimia nurmialueita (Aspiala et al. 2007). Puistosta otettiin näytteet HAA1 ja HAA2, joista HAA1:ssä on korkeita kupari- ja arseenipitoisuuksia (Kuva 74). Näytteen kuparipitoisuus 204 ppm ylittää kuparille asetetun ylemmän ohjearvon, minkä lisäksi arseenipitoisuus 7,7 ppm ylittää taustapitoisuuden. HAA2 -näytteessä vanadiini-, kromi-, koboltti-, nikkeli-, arseeni- ja kuparipitoisuudet ovat alhaisemmat kuin HAA1 -näytteessä, kun puolestaan kadmium-, sinkki- ja lyijypitoisuudet ovat korkeammat (Kuva 74). HAA1 -näytteessä kuparipitoisuus on kolme kertaa suurempi kuin HAA2 -näytteessä. Haaganpuiston lähellä ei Munkinpuiston tapaan ole ollut teollisuutta (Aspiala et al. 2007). Maaperän mahdollinen pilaantumisen syy voi olla muualta tuodussa täyttömaassa, joka on valmiiksi ollut pilaantunutta. Paloheinänhuipun tapaan Haaganpuiston täyttömaan ominaisuusriski on arvioitu olevan kohtalainen (3), kun puolestaan sijaintiriski on vähäinen (2) (Immonen 2001). Puiston ojassa on myös havaittu ruosteenväristä pohjasedimenttiä (Immonen 2001).



**Kuva 74.** Haaganpuiston näytteenottoaikat ja näytteiden pitoisuudet.

Helsingin kaupunki on tekemässä Isonnevan kaavamuutosta, joka koskee myös Haaganpuistoa. Kaavamuutoksesta käy ilmi, että alueen maaperästä on löytynyt ylemmän ohjearvon ylittäviä lyijy- ja kuparipitoisuuksia, sekä alemman ohjearvon ylittäviä sinkkipitoisuuksia. Kadmium-, koboltti- ja arseenipitoisuudet ylittävät myös kynnysarvon. Maaperän pilaantumisen on epäilty johtuvan likaisesta täyttömaasta, joka esimerkiksi Haaganpuistossa sisältää purkujätettä ja Rajasaaren jätevesipuhdistamolta tuotua lietettä. Pilaantunut maaperä on tarkoitus poistaa ja korvata uudella maa-aineksella alueilla, joissa tehdään kaavamuutoksesta johtuvia maanrakennustöitä. (Helsingin kaupunki ympäristökeskus 2017)



## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

pXRF-laitteella voidaan arvioida maan pilaantuneisuutta raekokoluokasta riippumatta kuparissa, lyijyssä, ja sinkissä ( $R^2 > 0,87$ ,  $p < 0,001$ ) sekä riittävällä tarkkuudella myös vanadiinissa ( $R^2 > 0,76$ ,  $p < 0,001$ ). Lisäksi pXRF-laitteella voidaan mitata kromin pitoisuus riittävällä tarkkuudella hienoaineksesta ( $R^2 = 0,91$ ,  $p < 0,001$ ), kun taas karkeamman raekoon ( $< 2$  mm) arviointiin se ei sovi ( $R^2 = 0,46$ ,  $p < 0,001$ ). Tulosten perusteella pXRF-laite ei sovellu pienien arseenipitoisuuksien arviointiin maaperän orgaanisessa pintakerroksessa ( $R^2 < 0,49$ ). Tutkituissa metalleissa pXRF-laite antoi korkeammat pitoisuudet kuin ICP-MS-analyysi, mikä nähdään myös kummassakin raekoossa. Nikkeli-, koboltti- ja kadmiumpitoisuuksia ei voitu mitata pXRF-laitteella kummassakaan raekoossa, koska näytteiden pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan.

Tutkitut metallipitoisuudet olivat yleisesti korkeammat hienoaineksessa ( $< 0,06$  mm) kuin karkeammassa ( $< 2$  mm) raekoossa, mikä nähdään sekä pXRF-analyysissä että ICP-MS-analyysissä. Pitoisuudet korreloivat parhaiten eri raekokojen kesken lyijyssä, sinkissä ja kadmiumissa ( $r > 0,82$ ). ICP-MS-menetelmällä ja pXRF-laitteella saadut pitoisuudet eri raekoossa korreloivat arseenia lukuun ottamatta samankaltaisesti, arseenipitoisuudet korreloivat paremmin pXRF- kuin ICP-MS-menetelmällä.

Helsingin puistossa ja saarissa maaperän haitta-ainepitoisuudet pysyvät pääsääntöisesti alle kynnysarvojen ja taustapitoisuuden. ICP-MS menetelmässä ja alle 2 mm:n raekoossa puisto- ja Helsingin edustan saarinäytteiden arseenipitoisuus on yleisesti 2,9–4,5 ppm, kadmiumpitoisuus 0,08–0,28 ppm, kobolttipitoisuus 2,8–5,2 ppm, kromipitoisuus 11,7–27,1 ppm, kuparipitoisuus 4,7–36,9 ppm, nikkelpitoisuus 6,5–13,3 ppm, lyijypitoisuus 7,4–41,9 ppm, vanadiinipitoisuus 14,6–31,4 ppm ja sinkkipitoisuus 27,5–94,6 ppm.

Virallisessa  $< 2$  mm:n raekoossa Helsingin edustan saarinäytteissä ja uimarantanäytteissä ei ylitetä kynnysarvoja tai taustapitoisuutta. Puolestaan puistonäytteissä (101 näytettä) arseenin taustapitoisuus ylitetään 4 näytteessä, kadmiumin kynnysarvo 4 näytteessä, kuparin kynnysarvo yhdessä näytteessä, lyijyn taustapitoisuus 2 näytteessä ja sinkin taustapitoisuus yhdessä näytteessä. Alempi

ohjearvo ylitetään puolestaan lyijyssä ja sinkissä 2 näytteessä ja ylempi ohjearvo kuparissa ja sinkissä 2 näytteessä. Ohjearvoja ylittäviä pitoisuuksia löytyi Eugen Schaumanin puistosta, Paloheinänhuipulta, Munkinpuistosta, Haaganpuistosta ja Kuntätähdenkentältä. Pilaantuneiksi havaittuja puistoja tulisi tutkia tarkemmin, sillä ylemmän ja alemman ohjearvon ylittävää maaperää voidaan pitää pilaantuneena. Huomioitavaa on että kaikissa ohjearvoja ylittävissä puistoissa vain yksi näyte oli pilaantunut ja toinen näyte oli puhtaampi, eli pilaantuminen on siis rajautunut tietylle alueelle puistossa. Itä-Helsingin puistoissa, Helsingin edustan saarilla ja neljällä uimarannalla oli alueellisesti tutkimuksen alhaisimmat pitoisuudet.

## 8. KIITOKSET

Haluan kiittää gradu-ohjaajiani Seija Kulttia, Pasi Heikkilää ja Juhani Virkasta. Erityinen kiitos Seija Kultille, joka neuvoi ja opasti minua koko työni ajan. Haluaisin kiittää Tuija Vaahtojärveä joka märkäpoltti osan näytteistä ja opasti minua myöhemmin näytteiden märkäpoltossa. Kiitos myös Metsähallitukselle ja Pekka Koposelle, jotka mahdollistivat näytteenoton Vallisaarella.

## 9. VIITELUETTELO

- Aspiala, A., Haapakoski, T., Immonen, T., Saaristo-Wahlberg, A. ja Tegel, S. 2007. Haagan aluesuunnitelma 2007-2016. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisuja 2007:1 / Katu- ja puisto-osasto. 180 s.
- Ciazela, J. ja Siepak, M. 2016. Environmental factors affecting soil metals near outlet roads in Poznań, Poland: impact of grain size, soil depth, and wind dispersal. *Environmental Monitoring and Assessment* (2016) 188: 323.
- EPA 3051. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils.
- Fraktman, L. 2002. Bromatut palonestoaineet ympäristössä. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2002. 29 s.
- Haaksi, H., Gustafsson ja J., Seppälä, J. 2017. Askeleet myrkyttömään veneilyyn: Katseet veneiden pohjiin. Pidä Saaristo Siistinä ry. Opas. 33 s.
- Haavisto-Hyvärinen, M. ja Korhonen, R. 1998. Helsingin kartta-alueen maaperä. Maaperäkartan selitys 1 : 20 000 - Expl. to Maps of Quaternary deposits. Lehti 2034 06. Geologian tutkimuskeskus. 24 s.
- Harju, K. 2012. Vallilanlaakso Puistosuunnitelma ja Kumpulanpuron hulevesisuunnitelma. Puistosuunnitelman selostus. HKR Katu- ja puisto-osasto Investointitoimisto. 3.9.2012. 3 s.
- Hatakka, T., Nuottimäki, K., Sarala, P., Taivalkoski, A. ja Tarvainen, T. 2016. Kenttä-XRF-analysaattorin soveltuvuus geokemiallisiin taustapitoisuus- tutkimuksiin. GTK:n arkistoraportit 97/2015. 112 s + 5 liitettä.

- Hatakka, T., Tarvainen, T. ja Salla, A. 2010a. Helsingin täyttömaiden taustapitoisuudet. Geologian tutkimuskeskus. Arkistoraportti S41/2010/63. 20 s.
- Hatakka, T., Tarvainen, T., Jarva, J., Backman, B., Eklund, M., Huhta, P., Kärkkäinen, N. ja Luoma, S. 2010b. Pirkanmaan maaperän geokemialliset taustapitoisuudet Summary: Geochemical baselines in the Pirkanmaa region. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 182, 104 sivua, 60 kuvaa ja 33 taulukkoa.
- Helsingin kaupunki ympäristökeskus, 2017. Rakennusviraston ilmoitus pilaantuneen maaperän puhdistamisesta Haagassa Isonnevan kaavamuuotosalueella. Pöytäkirja. 9 §. HEL 2016-013153 T 11 01 00 06.
- Holstein, M., Elohaka, E. ja Sihvola, E. 2010. Munkkiniemen aluesuunnitelma 2011-2020. Vanha Munkkiniemi, Munkkivuori, Talinranta. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2010:11 / Katu- ja puisto-osasto. 122 s.
- Ilonen, K., Holstein, M., Haapakoski, T., Tammisto, P., Vihervuori, S., Kaarnametsä, H., Nyman, J. ja Haanperä, O. 2011. Reijolan aluesuunnitelma 2011 – 2020. Osa-alueita Laakson, Ruskeasuon, Meilahden, Munkkiniemen ja Haagan kaupunginosista. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2011:5 / Katu- ja puisto-osasto. 83 s.
- Immonen, K. 2001. Helsingin täyttömaa-alueet. Karttoitus ja ympäristövaikutusten esiselvitys. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 7/2001. 77 s.+ 10 liitettä.
- ISO 17294-2. Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes (ISO 17294-2:2016).
- Jantunen, M., Komulainen, H., Nevalainen, A., Tuomisto, J., Venäläinen, R. ja Viluksela, M. 2005. Selvitys elinympäristön kemikaaliriskeistä. Kansallisen kemikaaliohjelman taustaselvitys. Kansanterveyslaitos, ympäristöterveyden osasto. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B 11/2005. 257 s.
- Jokela, H. 2008. Maanteiden huleveden laatu. Kirjallisuusselvitys. Helsinki 2008. Tiehallinto, Keskushallinto. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 81/2008. 48 s. + liite. 1 s. ISSN 1459-1561, TIEH 4000686-v.
- Kallion kulttuuriverkosto. Jäljet johtavat syytöntehtäälle. Omatoimikävelyesite N:9.
- Kartta.hel.fi. <https://kartta.hel.fi> Vierailtu useasti 2017-2018 välisenä aikana.
- Kiinteistövirasto 2016. Töölönlahden vesialueen pohja- ja pima-tutkimukset. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto. GEO 12684/1. 6 s. + 6 liitettä.
- Krishna, A.K. ja Mohan, K.R. 2012. Metal Contamination and Their Distribution in Different Grain Size Fractions of Sediments in an Industrial Development Area. Bulletin Environmental Contamination Toxicology (2013) 90:170–175.
- Kivilaakso, E. 2010. Katsaus Helsingin pilaantuneisiin maihin 2009. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2010:4. 31 s.
- Koivisto, M. Töölönlahden puistossa on yksilöllisiä betonilaattoja. Betoni 4 2016. 6 s.
- Laakkonen, S., Laurila, S., Kansanen, P. ja Schulman, H. 2001. Näkökulmia Helsingin ympäristöhistoriaan: kaupungin ja ympäristön muutos 1800- ja 1900-luvuilla. Editat, Helsinki, 274 s.
- Laurinen, H. ja Vertainen, V. 2004. Pohjoisen suurpiirin läntiset ja pohjoiset osat viheraluesuunnitelma 2004-2013. Maunulanpuisto, Metsälä, Pirkkola, Pakila, Paloheinä, Torpparinmäki, Haltiala ja Tuomarinkartano. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisuja 2004:1 / viherosasto. 276 s. + 3 liitettä
- Lemière, B. 2018. A review of pXRF (fieldportable X-ray fluorescence) applications for applied geochemistry. Journal of Geochemical Exploration 188 (2018) 350–363.
- Leminen, K., Arovaara, H. ja Forss, P. 1993. Helsingin jätteenkäsittelyalueet. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 11/93. 33 s. + 7 liitettä
- Liski, M., Ruoff, E. ja Tikkanen, K. 2016. Tove Janssonin puisto. Puistohistoriallinen selvitys ja kehittämisperiaatteet. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2016:4. 60 s. + 1 liite.
- Margui, E. ja Grieken, R. V. 2013. X-Ray Fluorescence Spectrometry and Related Techniques : An Introduction, Momentum Press, 2013. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/helsinki-ebooks/detail.action?docID=1048456>.

- Marttila, H. 2007. Helsingin lammet. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2007. 57 s + 6 liitettä
- Mäkelä, E., Wahlström, M., Pihlajaniemi, M., Mroueh, U.-M., Keppo, M. ja Rämö, P. 1998. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteet ja lentotuhka maarakentamisessa. Jatkotutkimus. Espoo 1999, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 1952. 61 s. + liitt. 3 s.
- Myllys, L., Tanhuanpää, A. ja Silvo, V. 2007. Eiranrannan ja Merisataman virkistysalueiden puistoympäristösuunnitelma 2007. Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 40 s. + 2 liitettä.
- Nummi, E. 2010. Vihreät sylit. Kävelyretkiä Helsingin puistoissa. Edita, Helsinki, 279 s.
- Olesik, J. W. 2014. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometers. Treatise on Geochemistry 2nd edition, Vol: 15, 309-336.
- Parsons, C., Margui Grabulosa, E., Pili, E., Floor, G.H., Roman-Ross, G. ja Charlet, L. 2012. Quantification of trace arsenic in soils by field-portable X-ray fluorescence spectrometry: Considerations for sample preparation and measurement conditions. Journal of Hazardous Materials 262 (2013) 1213-1222. 10 s.
- Penttilä, S. 1956. Helsingin seudun kallioperän kulutusmuodot ja moreeni jään liikkeen kuvastajina. Geologian tutkimuskeskus. GTK:n arkistoraportit. 47 s.
- Penttinen, R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus. Yleisimpien menetelmien esittely. Suomen ympäristökeskus. ISBN 952-11-0943-2. 48 s.
- Punkamaa, M. ja Palmgren, T., 2007. Sörnäisten, Kallion, Alppiharjun, Vallilan ja Hermannin viheraluesuunnitelma 2007–2016. Rakennusvirasto. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2007:8 / Katu- ja puisto-osasto. 149 s.
- Pyrylä, R. 1998. Saastuneen maa-alueen kunnostuskustannukset. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 15/98. 44 s. + 3 liitettä.
- Pönkä, A. ja Pukkala, E. 2000. Syöpä ja krooniset sairaudet Myllypuron entisen kaatopaikan alueella asuneilla. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 7/2000. 11 s.
- Raevuori, A. 2014. Hävittääkö Helsinki! pääkaupungin tuhopommitukset 1944. Otava, 2. painos, Helsinki, 318 s.
- Rakennusvirasto 2010. Kulosaaren kluuvin puistoalueiden hankesuunnitelma. Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 31.3.2010. 16 s.
- Rakennusvirasto 2016. Määrärahan hyödyntäminen Vuosaaren entisen kaatopaikan kunnostustöihin ja Myllypuron entisen kaatopaikan maisemointiin. Helsingin kaupungin rakennusvirasto. HEL 2016-002864 T 02 02 02.
- Rantalainen, P. Dallapènpuisto. Puistosuunnitelman selostus. Kaupunkiympäristön toimiala. Maankäyttö- ja kaupunkirakenne. 1 s.
- Rouillon, M. ja Taylor, M.P. 2016. Can field portable X-ray fluorescence (pXRF) produce high quality data for application in environmental contamination research? Environmental Pollution 214 (2016) 255-264.
- Ruotsalainen, M. 1998. Kivihiilivoimalaitosten palamisjätteiden sijaintikartoitus Helsingin alueella. Helsingin kaupungin ympäristökeskus moniste 3/1998. 6 s. + 5 liitettä.
- Salla, A. 1999. Maaperän haitta-aineiden taustapitoisuudet Helsingissä. Eräiden alkuaineiden ja orgaanisten yhdisteryhmien luontaisten ja ilmaperäisten pitoisuuksien summat Helsingin maaperän pintakerroksissa. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 15/99. 24 s.+ 7 liitettä.
- Salla, A. 2004. Kallioperän ja maaperän arvokkaat luontokohteet Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 6/2004. 26 s. + 3 liitettä.
- Salla, A. 2009. Maaperän haitta-aineiden taustapitoisuudet sekä pitoisuudet puistoissa ja kerrostalojen pihilla Helsingissä. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 3/2009. 16 s.
- Salminen, R., Tarvainen, T. ja Moisio, T. 2007. Alkuaineiden taustapitoisuudet Suomen harjujen ja reunamuodostumien karkealajitteisissa mineraalimaalajeissa. GTK, tutkimusraportti 167, 33 sivua, 23 kuvaa ja 10 taulukkoa.
- Sarala, P., Taivalkoski, A. ja Valkama, J. 2014. Kannettavan XRF-analysaattorin käyttö moreenigeokemiallisessa tutkimuksessa. Geologian tutkimuskeskus, GTK:n arkistoraportit 120/2014. 9 s + 13 liitettä.

- Suh, J.-Y. ja Birch, G.F. 2004. Use of grain-size and elemental normalization in the interpretation of trace metal concentrations in soils of the reclaimed area adjoining Port Jackson, Sydney, Australia. *Water, Air, and Soil Pollution* 160: 357–371, 2005.
- Tarvainen, T. 1995. The geochemical correlation between coarse and fine fractions of till in Southern Finland. *Journal of Geochemical Exploration* 54 (3), 187 – 198.
- Tarvainen, T., Hatakka, T., Kumpulainen, S., Tanskanen, H., Ojalainen, J. ja Kahelin, H. 2003. Alkuaineiden taustapitoisuudet eri maalajeissa Porvoon ympäristössä. *Geologian tutkimuskeskus. GTK:n arkistoraportit S/41/3021/2003/1*. 56 s + 1 liite.
- Tarvainen, T., Eklund, M., Haavisto-Hyvärinen, M., Hatakka, T., Jarva, J., Karttunen, V., Kuusisto, E., Ojalainen, J. ja Teräsvuori, E. 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Summary: Geochemical baselines around the Helsinki metropolitan area. *Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti* 163. 40 sivua, 18 kuvaa ja 10 taulukkoa.
- Tarvainen, T., Hatakka, T., Salla, A., Jarva, J., Pitkäranta, P., Anttila, H. ja Maidell-Münster, L. 2013. Pääkaupunkiseudun maaperän taustapitoisuudet. Summary: Geochemical Baselines in the Helsinki Metropolitan Area. *Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti* 201, 91 sivua, 28 kuvaa, 54 taulukkoa ja 4 liitettä.
- Thomas, R. 2013. *Practical Guide to ICP-MS: A Tutorial for Beginners*, Third Edition. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742.
- Uudenmaan ympäristökeskus, 2005a. Ympäristölupapäätös. Dnro UUS-2004-Y-811-111. No YS 818
- Uudenmaan ympäristökeskus 2005b. Ympäristölupapäätös. Dnro UUS-2002-Y-35-121. No YS 207.
- Vaitomaa, J., Nurmi, P. ja Puttonen, J. 2010. Merivesitulvan aikana ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavat riskikohteet Helsingissä. *Helsingin kaupungin ympäristökeskus. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja* 9/2010. 17 s. + 1 liite.
- VN 527/2014. Ympäristönsuojelulaki.
- VN 214/2007. Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista.
- VN 713/2014. Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta
- VN 646/2011. Jätelaki.
- Vepsäläinen, M., Pyy, O., Sjölund, M., Nikunen, S., Rajala, A.-M. ja Reinikainen, J. 2016. Pilaantuneen maa-alueen kunnostushankkeen tilaaminen. *Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja* 1/2016. 36 s. + 1 liite.
- Weindorf, D.C., Zhu, Y., Chakraborty, S., Bakr, N. ja Huang, B. 2011. Use of portable X-ray fluorescence spectrometry for environmental quality assessment of peri-urban agriculture. *Environmental Monitoring and Assessment* (2012) 184:217–227 DOI 10.1007/s10661-011-1961-6.
- Wu, C.-M., Tsai, H.-T., Yang, K.-H. ja Wen, J.-C. 2012. How Reliable is X-Ray Fluorescence (XRF) Measurement for Different Metals in Soil Contamination? *Environmental Forensics*, 13:2, 110-121.
- Ympäristöministeriö 2015. Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. *Suomen ympäristö* 10/2015. 47 s. + 4 liitettä.

## 10. LIITTEET

Liite 1. Näytteiden tiedot.

Paikka	Näytteet	Maa-aines	Huomiot	Koordinaatit
Aarrepuisto	AAR1	multa	hanhen ulostetta	E00395074, N06679496
	AAR2	multa		E00395005, N06679504
Agroksenmäki	AGR1	hiekkä		E00387688, N06674660
	AGR2	multa, vähän hiekkää		E00387713, N06674627
Armi Ratian puisto	ARM1	multa	hanhen ulostetta	E00386715, N06670993
	ARM2	multa		E00386596, N06671019
Dallapenpuisto	DAL1	multa		E00386859, N06674295
	DAL2	multa		E00386791, N06674323
Eiran puisto	EIR1	multa	hanhen ulostetta	E00385676, N06670739
	EIR2	multa		E00385691, N06670711
Eugen Schaumanin puisto	EUG1	multa		E00389655, N06673429
	EUG2	savinen multa		E00389541, N06673408
Filpuksenpuisto	FIL1	multa	hanhen ulostetta	E00390308, N00680663
	FIL2	multa		E00390242, N06680760
Fredrik Stjernvallin puisto ja Meripuisto	FRE1	multa		E00385939, N06670462
	FRE2	multa		E00385878, N06670421
Haaganpuisto	HAA1	multa	hanhen ulostetta	E00383126, N06677245
	HAA2	multa		E00383048, N06677070
Hesperian esplanadi	HES1	multa		E00384438, N06672873
	HES2	multa		E00384798, N06672922
Hiidenkivenpuisto	HII1	multa	hanhen ulostetta	E00390206, N06682476
	HII2	multa		E00390163, N06682449
Hilapelto	HIL1	musta multa (savi paakkuja)		E00380415, N06679910
	HIL2	multa		E00380448, N06680031
Ilveskorvenpuisto	ILV1	musta multa	kusiaisia	E00396759, N06677573
	ILV2	multa		E00396721, N06677463
Josefatinkalliot	JOS1	multa		E00386029, N06674001
	JOS2	multa		E00386061, N06673989
Kauniinilmanpuisto	KAU1	multaa	hanhen ulostetta	E00398087, N06675587

	KAU2	multa	hanhen ulostetta	E00398054, N06675760
Kelllosaarenpuisto ja rantapuisto	KEL1	multa		E00384046, N06671262
	KEL2	musta multa		E00384083, N06671246
Kiiltomadonpuisto	KII1	multa		E00392271, N06673329
	KII2	multa		E00392262, N06673268
Kirsikkapuisto	KIR1	multa ja vähän hiekkaa		E00391764, N06674754
	KIR2	hiekkä		E00391848, N06674848
Korppaanpuisto	KOR1	tumma multa	hanhen ulostetta ja kusiaisia	E00382956, N06676092
	KOR2	savinen tumma multa		E00382888, N06676056
Kumtähdenpuisto	KUM1	multa		E00387334, N06675885
	KUM2	multa		E00387372, N06675882
	KUM3	musta multa		E00387327, N006675927
Laamanninpuisto	LAA1	multa		E00387187, N06682403
	LAA2	multa		E00387145, N06682468
Lenininpuisto	LEN1	multa		E00385954, N06674370
	LEN2	multa	muovi korkki	E00385969, N06674295
Linnanpellonpuisto	LIN1	multa	orgaanisempi	E00395192, N06678472
	LIN2	Hiekkainen multa		E00395161, N06678558
Maila Talvion puisto	MAI1	multa	oransseja läikkiä	E00383295, N06674096
	MAI2	savinen multa		E00383391, N06674026
Malminkartanonhuippu	MAL1	musta jtn??		E00380850, N06681322
	MAL2	multa	kusiaisia	E00380441, N06681395
Mansikkamäki	MAN1	savinen multa	auriongottajia	E00384586, N06675630
	MAN2	musta multa		E00384536, N06675557
Merikylpylän puisto	MER1	multa	hanhen ulostetta	E00381961, N06670574
	MER2	multa	hanhen ulostetta	E00382021, N06670595
Munkinpuisto	MUN1	multaa ja hiekkaa	oransseja läikkiä	E00381970, N06675688
	MUN2	multa	lasi ja puunpalasia	E00381828, N06675629
Myllypuron liikuntapuisto	MYL1	multa		E00393365, N06677189
	MYL2	musta multa		E00393528, N06677268
Mäkitorpanpuisto	MÄK1	multa		E00386954, N06678692
	MÄK2	multa	kolikko	E00386977, N06678713
Paloheinänhuippu	PAL1	multa	muurahaisia	E00384590, N06681524

	PAL2	multa		E00384537, N06681804
Paukkulanpuisto	PAU1	multa		E00392386, N06679472
	PAU2	hiekkä		E00392490, N06679529
Piiänpuisto	PII1	savinen multa		E00381247, N06680483
	PII2	multa		E00381481, N06680582
Pikku Huopalahden puisto	PIK1	multa	hanhen ulostetta	E00383166, N06675535
	PIK2	multa	hanhen ulostetta	E0038206, N06675251
Porolahdenpuisto	POR1	multa	hanhen ulostetta	E00392193, N06674547
	POR2	multa	hanhen ulostetta	E00391980, N06674523
Pyhän Birgitan puisto	PYH1	multa	hanhen ulostetta	E00385300, N06670386
	PYH2	multa	hanhen ulostetta	E00385229, N06670403
Savelan puisto	SAV1	musta multa		E00389035, N06679601
	SAV2	multa		E00389028, N06679490
Sibeliuksen puisto	SIB1	multa	hanhen ulostetta	E00384296, N06673448
	SIB2	multa	matoja	E00384335, N06673496
Sorsapuisto	SOR1	multa	pullonkorkki	E00385038, N00678583
	SOR2	multa		E00384969, N06678548
Strömbergin puisto	STRB1	multa		E00381719, N06677814
	STRB2	multa, vähän hiekkää	kusiaisia	E00381791, N06677736
Suuntimopuisto	SUU1	multa		E00391557, N06683745
	SUU2	multa		E00391507, N06683817
Suutarilanpuisto	SUUT1	multa		E00389413, N06684184
	SUUT2	savinen multa		E00389405, N06684073
Säveltäjänpuisto	SÄV1	multa		E00388662, N06680427
	SÄV2	savinen multa		E00388704, N06680435
Taivaskallio	TAI1	multa		E00386606, N06677647
	TAI2	multa		E00386539, N06677665
Tove Janssonin puisto	TOV1	multa	paljon matoja	E00386864, N06671851
	TOV2	multa		E00386891, N06671879
Töölönlahden puisto	TÖÖ1	multa	hanhen ulostetta	E00385557, N06672863
	TÖÖ2	musta multa	hanhen ulostetta	E00385439, N06672865
Vallilanlaakso	VAL1	multa		E00386426, N06675401
	VAL2	multa	hanhen ulostetta	E00386209, N06675621
Vanha kirkkopuisto	VAN1	multa		E00385716,



				N06671707
	VAN2	multa	pullonkorkki ja lasia	E00385629, N06671663
Verkatehtaanpuisto	VER1	multa		E00388183, N06676924
	VER2	savinen multa		E00388074, N06676906
Viikinojanpuisto	VII1	hieno hiekka	oransseja läikkiä	E00391132, N06678842
	VII2	karkea hiekka		E00391170, N06678369
<b>Saaret</b>				
Pihlajasaari	PIH1	multa	hanhen ulostetta	E00384320, N06668778
	PIH2	multa		E00384051, N06668587
Tervasaari	TER1	multa	2 kpl pullonkorkkia	E00387243, N06672534
	TER2	multa		E00387368, N06672472
Uunisaari	UUN1	multa		E0038382, N06670186
	UUN2	multa		E00386356, N06670158
Vallisaari	VALL1	multa		E00388865, N06668142
	VALL2	multa	orgaanisempi	E00388672, N06668425
<b>Rannat</b>				
Tuorinniemen uimaranta	HRANTA1	hiekkä		E00391158, N06673729
	HRANTA2	hiekkä		E00391248, N06673719
Hietaniemen uimaranta	Hietsu1	hiekkä		E00383860, N06672629
	Hietsu2	hiekkä		E00383727, N06672581
Lauttasaaren uimaranta	LRANTA1	hiekkä		E00381909, N06670561
	LRANTA2	hiekkä		E00381861, N06670593
Aurinkolahden uimaranta	VRANTA1	hiekkä		E00397926, N06675354
	VRANTA2	hiekkä		E00397717, N06675275

## Liite 2. Näytteiden ICP-MS-tulokset.

Näyte	As ( 2)	As ( 0,06)	Cd ( 2)	Cd ( 0,06)	Co ( 2)	Co ( 0,06)	Cr ( 2)	Cr ( 0,06)	Cu ( 2)	Cu ( 0,06)
AAR1	2,5	4,6	0,1	0,2	2,8	3,6	11,3	26,5	23,2	39,1
AAR2	2,9	4,4	0,1	0,2	2,9	3,5	10,8	18,8	22,0	32,5
AGR1	3,1	4,1	0,1	0,1	2,9	2,9	12,2	12,2	12,7	12,3
AGR2	3,0	4,2	0,1	0,1	2,8	3,2	11,7	15,3	14,7	19,0
ARM1	3,5	4,5	0,3	0,3	5,1	6,1	24,5	31,7	29,2	35,5
ARM2	3,7	6,9	0,1	0,3	4,3	7,5	16,9	30,9	26,7	46,5
DAL1	3,4	4,6	0,1	0,1	3,0	3,2	15,1	18,8	14,6	19,3
DAL2	3,5	3,7	0,1	0,1	1,9	2,0	8,1	11,0	8,8	8,9
EIR1	5,1	7,3	0,4	0,6	4,0	6,2	21,9	39,2	43,4	72,6

EIR2	3,3	6,8	0,3	0,7	3,1	5,6	14,1	31,8	41,8	102,7
EUG1	5,9	7,5	0,8	0,9	7,0	7,1	39,0	53,2	587,6	1859,3
EUG2	4,2	4,0	0,2	0,2	5,7	5,5	33,8	42,0	22,2	25,2
FIL1	8,5	7,0	1,0	1,0	6,0	6,4	33,9	42,9	37,1	53,5
FIL2	3,1	6,1	0,1	0,2	3,1	5,9	14,5	34,3	19,2	51,5
FRE1	4,0	5,0	0,1	0,1	2,7	2,7	13,2	15,6	15,7	13,1
FRE2	3,2	4,5	0,1	0,1	2,5	2,7	10,5	14,7	19,4	19,4
HAA1	7,7	7,0	0,3	0,3	7,9	7,4	62,5	74,3	204,2	42,5
HAA2	6,2	5,5	0,6	0,6	6,6	6,7	49,1	65,5	58,6	68,0
HES1	6,0	4,2	0,3	0,2	6,8	5,7	43,9	40,5	38,6	30,6
HES2	5,1	8,9	0,3	0,4	3,8	6,4	19,9	39,0	51,4	94,2
HII1	2,7	3,8	0,2	0,3	6,1	8,4	28,2	53,2	27,8	45,3
HII2	3,5	4,3	0,1	0,2	6,8	8,2	31,1	42,4	25,9	34,6
HIL1	2,7	4,6	0,1	0,3	4,0	6,3	17,9	33,2	29,4	54,2
HIL2	4,8	6,1	0,3	0,5	5,9	7,6	41,3	70,2	68,3	107,9
ILV1	4,1	5,0	0,1	0,1	4,2	3,9	14,2	15,7	23,3	22,5
ILV2	3,7	9,7	0,0	0,1	2,1	4,4	7,1	29,9	10,8	30,1
JOS1	9,3	11,9	0,2	0,3	5,8	6,6	25,6	40,4	35,4	46,4
JOS2	4,7	5,1	0,2	0,2	3,2	3,3	13,6	19,0	27,4	35,6
KAU1	3,4	3,5	0,1	0,1	3,2	3,1	13,5	15,4	21,6	18,0
KAU2	3,2	3,8	0,1	0,1	2,4	2,3	11,0	14,1	19,3	19,8
KEL1	3,9	5,9	0,3	0,5	4,1	5,9	22,8	41,9	43,9	77,3
KEL2	4,3	7,1	0,1	0,3	3,8	5,8	14,8	33,2	25,6	45,0
KII1	2,7	3,1	0,1	0,1	2,6	2,5	11,1	12,8	11,2	11,3
KII2	2,8	4,0	0,0	0,1	2,7	2,9	11,3	13,7	11,2	12,8
KIR1	3,0	9,3	0,6	2,6	1,7	4,6	18,4	87,3	21,8	103,6
KIR2	2,6	11,2	0,4	2,5	1,4	4,7	13,7	98,7	13,6	87,5
KOR1	3,5	3,8	0,1	0,1	3,9	4,6	18,4	28,7	16,1	19,6
KOR2	3,9	5,0	0,2	0,3	5,5	6,3	31,2	43,7	32,1	42,4
KUM1	3,7	4,0	0,2	0,2	3,2	3,3	19,0	23,7	21,8	24,2
KUM2	3,7	3,9	0,3	0,3	4,2	4,5	22,2	28,3	28,8	33,2
KUM3	5,1	6,1	1,0	1,1	6,5	8,2	42,2	60,6	92,5	123,7
LAA1	5,7	5,4	0,3	0,3	7,5	7,8	44,0	55,0	33,2	38,9
LAA2	5,7	5,2	1,2	1,1	8,5	8,3	49,2	71,2	39,8	42,1
LEN1	3,4	5,4	0,6	0,9	3,0	4,2	18,2	30,3	32,4	51,4
LEN2	3,5	4,8	0,4	0,5	4,8	5,5	26,0	40,1	36,5	50,6
LIN1	2,6	3,6	0,1	0,1	3,8	4,1	15,9	19,4	13,5	16,8
LIN2	3,3	6,5	0,2	0,3	2,9	4,9	14,9	29,0	19,5	38,8
MAI1	1,5	7,0	0,0	0,2	1,3	4,1	7,3	27,5	5,0	25,1
MAI2	4,8	6,5	0,1	0,2	3,5	5,5	23,0	44,0	18,2	37,2
MAL1	2,1	5,5	0,1	0,2	7,6	15,3	10,9	28,7	26,3	55,1
MAL2	4,3	9,0	0,3	0,6	4,2	7,0	20,1	40,7	49,9	100,7
MER1	2,7	3,6	0,2	0,2	4,1	4,5	18,2	26,4	39,0	46,5
MER2	2,9	5,5	0,1	0,2	3,4	6,3	13,9	32,5	30,4	75,1
MUN1	2,2	3,7	0,1	0,1	1,9	2,8	7,2	13,6	7,5	13,6
MUN2	4,7	3,0	1,3	1,1	5,0	3,8	45,2	46,5	84,7	86,5

MYL1	3,5	7,8	0,1	0,3	3,3	6,3	15,8	36,2	14,4	33,6
MYL2	3,4	6,3	0,2	0,3	3,3	4,9	11,7	24,8	62,1	103,8
MÄK1	4,1	4,0	0,2	0,2	6,1	6,0	31,0	38,5	24,1	26,5
MÄK2	4,4	4,4	0,2	0,2	4,9	5,5	23,3	30,8	36,7	47,3
PAL1	6,0	9,5	3,8	5,7	4,5	6,3	56,1	85,4	112,2	181,8
PAL2	3,2	7,4	0,1	0,2	3,8	9,6	13,8	44,1	13,6	39,8
PAS1	4,6	7,4	0,4	0,6	5,8	9,0	28,8	53,1	40,0	75,9
PAS2	8,1	7,1	0,5	0,6	7,3	4,8	31,5	30,8	51,0	54,8
PAU1	3,4	6,0	0,1	0,3	3,6	6,2	19,0	38,9	18,8	36,2
PAU2	3,3	8,2	0,0	0,1	2,4	4,8	10,3	22,4	10,9	27,0
PIH1	1,8	7,7	0,1	0,4	1,7	4,4	5,8	23,0	5,7	27,9
PIH2	2,1	5,5	0,1	0,3	2,2	4,8	9,3	30,1	7,9	20,8
PII1	4,0	3,0	0,2	0,2	10,4	7,9	43,4	46,4	24,8	26,1
PII2	6,9	13,7	0,3	0,5	3,4	5,2	17,9	33,3	28,1	54,4
PIK1	1,8	5,1	0,1	0,2	2,4	5,8	11,1	40,8	9,0	29,3
PIK2	4,1	5,6	0,4	0,5	4,5	5,7	24,6	37,9	37,8	53,5
POR1	3,5	6,2	0,2	0,3	5,7	9,5	25,4	48,9	25,5	49,7
POR2	6,8	7,9	1,5	1,9	5,3	5,9	66,1	80,5	69,5	91,2
PYH1	2,9	4,1	0,0	0,1	3,0	4,0	11,3	17,4	11,9	17,2
PYH2	3,1	4,4	0,1	0,1	2,4	2,5	9,8	15,3	9,6	11,2
SAV1	3,9	5,6	0,3	0,4	4,8	7,4	31,1	55,8	22,3	42,7
SAV2	5,3	5,4	0,2	0,2	5,2	6,0	29,7	42,8	40,2	58,2
SIB1	5,7	5,6	0,2	0,1	4,4	4,6	28,3	31,8	33,1	34,8
SIB2	4,6	6,9	0,2	0,2	1,9	3,1	13,3	24,3	21,4	36,1
SOR1	2,7	4,7	0,2	0,3	4,0	5,3	23,1	37,7	21,0	39,6
SOR2	2,9	5,9	0,1	0,3	2,5	5,1	15,6	36,1	21,8	50,9
STRB1	3,3	5,5	0,1	0,1	2,1	2,5	9,1	16,1	11,2	14,3
STRB2	3,4	6,3	0,1	0,1	2,1	2,7	9,6	16,0	9,9	16,1
SUU1	3,9	3,9	0,3	0,3	4,1	4,3	17,2	24,1	29,0	30,8
SUU2	3,8	6,0	0,1	0,2	4,0	4,9	17,0	25,6	20,6	35,8
SUUT1	6,1	4,7	0,6	0,5	7,0	5,3	54,8	55,2	94,3	93,4
SUUT2	4,2	3,7	0,3	0,3	6,6	5,7	41,2	43,1	44,0	47,8
SÄV1	3,0	5,1	0,2	0,3	5,3	9,0	20,9	49,2	22,7	39,1
SÄV2	2,7	3,7	0,1	0,2	6,3	8,3	29,3	44,8	15,9	22,9
TAI1	4,6	5,7	0,2	0,3	3,6	4,5	24,0	34,3	28,9	37,1
TAI2	5,1	4,6	0,2	0,2	5,2	4,8	30,8	33,5	19,5	22,6
TER1	3,6	3,9	0,2	0,2	3,4	3,9	18,2	25,0	19,0	22,0
TER2	2,1	2,3	0,1	0,1	2,9	2,8	12,2	16,6	10,7	10,8
TOV1	4,5	6,4	0,3	0,5	3,8	4,9	16,6	25,8	52,9	79,4
TOV2	3,5	5,2	0,3	0,5	3,5	5,0	15,8	27,0	54,9	89,3
TÖÖ1	2,9	5,1	0,1	0,1	3,3	4,4	12,1	19,5	12,1	22,3
TÖÖ2	2,4	5,8	0,0	0,1	4,0	5,8	10,9	20,6	24,2	44,9
UUN1	2,5	6,5	0,1	0,2	1,7	3,5	7,4	25,4	8,7	36,1
UUN2	3,9	4,8	0,1	0,1	2,4	2,7	9,4	14,1	9,7	13,6
VAL1	3,5	4,8	0,1	0,1	4,1	4,4	13,8	19,4	16,7	19,5
VAL2	3,4	5,8	0,1	0,2	3,6	5,3	16,8	26,5	17,6	32,0

VALLI1	2,4	9,0	0,1	0,2	2,0	6,0	8,1	30,9	7,1	32,5
VALLI2	2,5	4,7	0,1	0,1	1,9	3,0	7,1	15,6	9,8	18,7
VAN1	4,9	7,8	0,2	0,4	4,1	6,0	16,8	29,5	42,1	68,2
VAN2	3,4	4,4	0,2	0,2	4,0	4,6	14,7	21,3	36,1	45,3
VER1	2,8	5,0	0,1	0,2	3,3	5,2	16,0	32,4	19,0	34,1
VER2	3,3	3,2	0,2	0,2	4,5	3,7	25,4	27,1	27,6	28,4
VII1	2,9	4,0	0,0	0,0	1,3	1,4	9,6	13,1	3,8	4,9
VII2	2,1	6,0	0,1	0,3	3,7	7,6	10,3	27,6	16,4	44,1

Näyte	Ni ( $< 2$ )	Ni ( $< 0,06$ )	Pb ( $< 2$ )	Pb ( $< 0,06$ )	V ( $< 2$ )	V ( $< 0,06$ )	Zn ( $< 2$ )	Zn ( $< 0,06$ )
AAR1	6,2	15,1	5,3	10,2	14,0	19,8	36,8	54,8
AAR2	6,0	10,4	4,8	8,4	13,4	18,7	32,7	45,6
AGR1	6,9	7,6	4,8	5,7	14,0	14,8	26,0	25,0
AGR2	7,1	9,7	4,8	7,0	14,9	17,9	24,5	30,4
ARM1	14,0	18,0	54,7	63,2	31,0	38,2	107,5	128,6
ARM2	9,1	18,1	38,2	87,2	20,5	34,0	53,9	95,4
DAL1	7,1	10,2	7,8	10,1	15,4	19,5	27,6	36,9
DAL2	4,6	6,1	3,1	4,2	11,4	13,0	14,8	16,3
EIR1	11,1	19,4	134,9	221,3	24,8	37,1	168,8	264,4
EIR2	7,7	17,2	184,4	407,1	17,0	32,4	170,7	398,7
EUG1	17,9	24,1	283,6	309,1	36,5	43,5	500,1	592,0
EUG2	14,6	18,9	27,5	27,9	39,0	37,2	71,6	71,4
FIL1	17,4	22,5	32,5	41,6	48,6	42,2	101,5	127,4
FIL2	7,2	17,7	13,2	34,4	16,2	33,3	46,1	93,3
FRE1	7,2	8,9	5,2	6,2	15,7	15,5	28,6	26,3
FRE2	6,4	8,6	7,3	9,0	12,0	15,0	29,4	35,0
HAA1	24,9	34,7	23,9	23,8	65,3	55,3	84,8	80,5
HAA2	18,9	25,1	49,1	49,6	44,5	43,5	137,3	144,9
HES1	18,6	17,9	107,2	47,7	51,7	38,2	106,4	86,3
HES2	10,0	19,9	104,3	177,8	25,3	44,0	86,8	148,3
HII1	15,1	28,3	14,9	28,2	34,1	47,2	70,6	118,6
HII2	14,5	20,3	10,6	14,5	36,5	44,7	68,5	89,1
HIL1	10,7	20,4	12,9	23,7	17,2	29,4	37,7	67,4
HIL2	15,2	26,4	24,0	33,8	38,3	43,7	162,6	233,5
ILV1	9,7	11,0	5,3	6,7	21,1	21,7	26,6	26,1
ILV2	4,4	18,9	7,8	21,6	9,9	21,3	27,2	54,2
JOS1	13,1	21,1	39,2	49,2	32,6	39,0	78,3	99,5
JOS2	6,9	9,6	18,3	20,4	18,4	19,5	40,1	42,7
KAU1	7,6	8,8	6,8	7,0	17,3	16,8	32,5	28,3
KAU2	5,5	6,9	5,1	6,6	13,8	15,1	34,4	33,2
KEL1	14,7	26,5	48,8	93,8	21,4	32,2	116,2	198,3
KEL2	8,6	20,0	11,5	22,0	18,1	26,7	63,7	108,7
KII1	6,4	7,9	4,2	5,8	13,4	14,3	17,2	16,1
KII2	6,7	8,1	3,9	5,9	13,5	15,9	20,0	20,4
KIR1	5,7	24,8	17,2	69,6	10,5	30,0	47,7	183,3
KIR2	4,0	20,8	7,6	47,3	7,4	22,7	24,9	110,7

KOR1	9,7	14,8	13,1	15,5	23,3	26,8	35,5	40,2
KOR2	14,6	21,7	25,5	34,3	35,6	41,3	72,0	89,3
KUM1	8,3	11,1	61,9	61,8	28,8	24,7	82,2	88,0
KUM2	9,8	13,6	84,6	91,2	30,2	30,8	187,7	208,0
KUM3	16,1	22,9	518,3	620,0	34,4	34,3	379,4	472,1
LAA1	19,5	26,0	35,3	34,2	49,6	49,2	101,9	107,6
LAA2	23,6	38,4	35,6	37,0	58,6	51,4	122,2	122,1
LEN1	8,4	13,8	36,9	55,6	19,5	28,7	78,6	118,3
LEN2	12,3	18,4	30,8	47,3	25,2	29,6	103,2	133,0
LIN1	9,0	11,4	3,6	5,6	19,2	21,1	24,2	26,3
LIN2	6,9	14,3	31,7	70,3	16,8	28,7	62,0	129,4
MAI1	2,9	15,8	7,4	38,9	8,7	27,2	16,4	66,2
MAI2	9,1	17,8	41,3	55,2	25,8	40,0	70,8	123,4
MAL1	21,2	50,9	10,1	24,7	26,1	40,5	19,6	56,2
MAL2	11,0	21,3	92,1	185,2	23,6	41,0	114,9	207,8
MER1	8,4	12,7	23,0	28,4	23,2	27,6	64,2	80,0
MER2	7,6	18,2	12,0	28,0	21,1	33,7	34,7	67,6
MUN1	4,1	7,4	6,2	12,3	10,2	16,5	20,2	31,8
MUN2	16,2	15,9	91,6	85,7	40,8	26,6	349,9	323,3
MYL1	8,8	19,6	14,4	32,9	18,8	37,5	42,4	84,8
MYL2	6,6	14,0	6,2	12,5	15,0	24,6	87,3	162,8
MÄK1	12,4	16,4	32,2	34,1	41,2	38,4	72,4	75,1
MÄK2	9,7	13,1	41,7	44,0	32,7	34,5	117,4	120,9
PAL1	15,7	24,0	197,2	304,1	27,7	39,3	405,8	611,1
PAL2	9,4	27,4	6,6	22,0	19,2	40,0	33,5	85,7
PAS1	13,4	24,4	95,1	148,6	32,9	53,4	185,7	286,8
PAS2	19,5	21,0	38,7	38,8	35,1	25,2	111,9	100,7
PAU1	9,0	18,8	20,5	38,6	20,9	35,5	47,0	84,9
PAU2	5,8	12,3	5,8	14,2	11,7	22,9	21,9	47,1
PIH1	3,2	12,0	14,6	57,8	9,2	27,1	26,7	91,0
PIH2	5,2	18,9	25,1	66,2	13,3	33,2	34,7	78,5
PII1	20,7	22,2	15,6	14,0	51,3	45,2	78,6	82,0
PII2	8,4	16,2	20,1	43,3	15,8	26,2	73,5	127,7
PIK1	5,1	19,9	10,2	36,9	14,3	35,4	33,9	93,9
PIK2	11,6	19,3	39,0	56,8	26,4	30,8	109,5	149,4
POR1	13,6	27,6	14,0	25,4	25,9	42,9	47,1	83,5
POR2	16,5	22,4	55,7	62,4	37,1	38,2	149,8	182,5
PYH1	8,7	12,0	3,4	5,9	14,2	20,1	17,0	22,2
PYH2	6,0	9,6	4,3	5,8	12,6	15,3	17,8	20,1
SAV1	13,3	24,8	23,8	41,1	30,3	47,4	75,7	124,1
SAV2	13,3	21,6	26,1	32,3	36,1	37,4	83,2	89,9
SIB1	13,0	14,7	54,1	52,5	38,1	33,0	64,1	63,2
SIB2	4,8	9,4	52,1	84,8	23,9	34,5	43,3	67,2
SOR1	9,7	17,4	35,7	60,4	25,3	37,1	54,2	76,0
SOR2	7,4	19,2	27,7	70,1	22,1	42,4	34,6	76,5
STRB1	5,1	8,6	5,0	8,9	11,5	16,2	17,6	23,3

STRB2	4,5	7,8	6,8	11,9	12,3	16,9	27,4	40,2
SUU1	10,4	14,6	29,2	23,3	23,5	22,5	84,9	85,4
SUU2	9,9	15,3	42,1	76,1	19,4	25,5	170,6	301,1
SUUT1	22,1	25,8	124,8	95,6	49,8	37,5	235,0	183,9
SUUT2	17,1	18,9	59,8	65,1	45,2	39,4	106,9	105,0
SÄV1	11,0	25,8	8,5	18,2	27,9	49,9	45,9	78,9
SÄV2	14,4	21,4	9,3	15,1	31,8	40,4	52,7	68,0
TAI1	10,1	15,0	53,2	67,1	27,6	34,5	84,2	108,8
TAI2	13,3	15,6	27,9	28,6	32,3	29,8	65,0	67,1
TER1	8,0	11,2	26,6	33,8	21,9	23,5	46,2	53,9
TER2	6,1	8,0	7,3	8,5	18,3	19,4	21,0	19,9
TOV1	10,9	16,6	103,0	154,2	20,9	27,3	127,8	185,5
TOV2	9,6	16,3	115,1	175,7	19,8	28,4	135,9	206,2
TÖÖ1	6,8	11,7	4,3	9,2	15,8	22,3	22,4	37,0
TÖÖ2	6,3	11,6	2,6	6,3	16,6	25,1	21,4	30,9
UUN1	4,2	13,2	44,3	187,6	10,6	32,1	29,0	74,2
UUN2	5,2	7,7	11,9	17,2	13,0	16,7	21,7	27,7
VAL1	9,7	13,0	4,4	7,2	19,3	22,2	22,6	24,6
VAL2	9,1	14,9	16,1	29,3	20,0	27,4	62,3	94,8
VALLI1	4,0	15,7	14,0	62,2	11,7	38,9	23,7	88,8
VALLI2	3,6	7,8	37,1	74,5	11,5	20,4	25,2	43,5
VAN1	10,6	18,2	108,8	167,8	26,1	40,0	84,4	126,7
VAN2	8,6	12,1	58,2	71,9	21,4	25,5	61,8	74,7
VER1	7,5	14,1	15,6	31,9	18,5	31,4	45,0	71,0
VER2	11,3	13,0	37,9	35,0	29,3	24,3	87,8	84,7
VII1	3,1	4,3	3,2	6,8	10,7	13,5	13,1	14,9
VII2	4,5	13,3	2,7	19,5	12,6	28,9	24,3	69,3

### Liite 3. Näytteiden pXRF-tulosten keskiarvot

SAMPLE	As (< 2)	As (< 0,06)	Cr (< 2)	Cr (< 0,06)	Cu (< 2)	Cu (< 0,06)
AAR1	0	8,125	0	46,935	25,23	60,78
AAR2	0	5,705	0	29,53	19,905	34,74
AGR1	4,48	0	0	21,215	14,81	16,44
AGR2	5,15	7,53	18,66	22,115	19,495	21,61
ARM1	7,875	15,7	29,855	59,36	33,25	55,88
ARM2	7,43	16,725	32,95	59,66	36,31	53,115
DAL1	4,5	6,58	0	21,61	0	20,76
DAL2	5,77	0	0	0	0	0
EIR1	11,725	25,46	33,465	56,44	48,515	95,765
EIR2	15,275	32,67	17,39	54,555	67,465	128,935
EUG1	16,19	25,935	56,51	104,56	728,85	2371,84
EUG2	5,41	6,76	39,06	69,17	26,025	29,595
FIL1	10,97	14,09	53,265	79,67	55,25	73,56
FIL2	7,67	11,93	23,73	81,72	28,085	63,815
FRE1	5,55	7,065	0	18,29	0	24,495
FRE2	4,75	7,125	0	28,57	16,96	35,29

HAA1	9,905	10,895	111,22	156,51	53,34	53,86
HAA2	10,515	10,625	66,67	117,29	76,41	81,635
HES1	8,37	7,425	64,02	78,05	39,225	46,94
HES2	11,45	26	34,575	101,61	71,625	145,425
HII1	5,365	9,88	41,39	92,475	37,385	50,115
HII2	5,48	7,41	49,13	64,875	32,51	43,505
HIL1	4,53	14,43	0	67,365	38,05	91,06
HIL2	8,54	8,115	78,565	119,505	95,26	150,7
ILV1	2,415	7,775	0	43,775	22,55	27,945
ILV2	5,245	14,645	57,165	146,895	17,645	55,415
JOS1	13,525	20,38	42,35	80,625	46,24	58,8
JOS2	6,22	8,275	0	29,02	28,27	43,315
KAU1	5,48	4,675	0	17,51	18,17	28,84
KAU2	0	5,93	0	20,49	25,625	18,41
KEL1	7,09	11,27	36,04	80,57	60,08	104,655
KEL2	7,3	9,715	20,33	61,565	34,99	70,175
KII1	0	0	0	15,19	13,57	15,07
KII2	4,27	5,415	0	36,59	17,52	0
KIR1	11,015	14,005	64,575	151,29	46,16	141,395
KIR2	0	25,965	0	234,53	23,66	163,99
KOR1	5,78	6,75	24,9	41,56	0	22,855
KOR2	6,025	8,44	32,33	82,695	29,39	56,76
KUM1	11,22	10,33	17,38	36,405	21,17	31,97
KUM2	8,58	12,515	28,79	46,48	36,345	42,835
KUM3	37,825	56,685	73,04	123,305	145,525	201,995
LAA1	0	12,645	60,985	102,17	41,035	49,71
LAA2	10,235	12,745	61,59	114,02	42	61,395
LEN1	6,585	11,51	22,77	58,12	39,275	69,06
LEN2	5,56	9,995	21,695	69,03	40,48	74,68
LIN1	5,555	0	0	19,11	17,565	20,61
LIN2	7,98	14,37	71,41	55,505	20,2	55,685
MAI1	4,84	9,755	0	69,065	0	34,48
MAI2	0	14,26	27,415	98,55	18,765	56,265
MAL1	7,675	11,935	134,47	156,79	93,88	127,12
MAL2	12,33	24,435	26,915	71,88	66,825	130,635
MAN1	14,165	20,675	38,315	104,735	55,68	113,65
MAN2	17,15	21,245	86,67	127,36	97,62	136,74
MER1	6,83	0	24,6	33,775	42,92	52,48
MER2	0	8,725	18,36	59,355	42,015	83,17
MUN1	0	0	0	26,07	15,85	21,055
MUN2	8,74	13,32	38,375	72,29	96,485	104,43
MYL1	0	11,04	0	65,72	21,625	37,055
MYL2	5,18	8,805	0	54,975	76,83	147,455
MÄK1	0	8,78	32,97	56,54	21,66	30,435
MÄK2	6,36	13,71	27,54	59,165	38,985	68,205
PAL1	22,625	16,81	167,19	149,395	198,525	216,475

PAL2	5,38	12,175	0	63,52	23,49	45,165
PAU1	5,48	8,98	20,26	68,355	24,885	49,27
PAU2	0	10,31	0	41,96	16,28	28,37
PIH1	5,87	16,15	15,32	43,325	15,355	42,285
PIH2	6,31	15,13	0	73,615	14,78	40,12
PII1	5,255	6,615	45,545	87,365	33,395	34,93
PII2	10,53	21,315	35,055	66,36	44,305	69,65
PIK1	5,22	8,565	16,35	80,675	16,395	34,92
PIK2	7,82	11,32	25,17	69	42,855	70,265
POR1	4,85	9,61	38,185	110,56	22,08	73,14
POR2	9,725	16,645	67,115	132,81	82,645	130,765
PYH1	4,18	7,37	25,28	37,525	0	25,61
PYH2	0	0	0	24,64	0	0
SAV1	5,485	8,045	46,585	94,625	30,53	52,445
SAV2	7,02	8,46	43,875	85,56	55,1	78,54
SIB1	9,35	9,98	42,24	62,86	34,125	52,43
SIB2	11,1	14,815	0	45,24	19,83	40,305
SOR1	6,71	9,38	32,87	70,42	29,09	42,485
SOR2	5,79	12,245	42,6	80,03	24,78	80,49
STRB1	0	8,38	0	0	15,02	15,15
STRB2	0	8,33	0	17,43	14,49	20,47
SUU1	0	6,175	0	38,49	27,01	35,43
SUU2	6,35	10,715	0	49,04	27,155	45,095
SUUT1	12,115	9,6	57,06	92,24	98,855	92,025
SUUT2	0	13,77	52,38	90,6	56,925	80,665
SÄV1	0	7,435	28,215	79,425	23,18	45,52
SÄV2	0	6,985	42,555	89,57	20,055	28,365
TAI1	8,295	9,335	33,655	59,33	31,8	49,815
TAI2	9,15	6,63	57,02	63,91	25,215	30,195
TER1	0	7,52	0	41,25	17,39	28,685
TER2	6,44	0	0	32,275	0	0
TOV1	8,88	19,925	0	44	53,275	103,975
TOV2	9,09	14,24	0	47,89	74,285	121,79
TÖÖ1	5,28	6,35	0	32,625	19,9	25,215
TÖÖ2	6,77	8,54	0	30,665	32,69	56,17
UUN1	7,68	21,55	19,73	58,04	16,05	53,215
UUN2	6,45	7,85	15,73	16,21	0	0
VAL1	6,53	5,73	0	28,14	24,5	22,43
VAL2	5,12	0	16,61	44,73	25,975	40,46
VALLI1	0	12,415	17,765	54,535	0	39,875
VALLI2	9,89	8,16	0	25,4	19,61	0
VAN1	10,44	19,145	23,48	49,75	41,825	83,745
VAN2	6,33	0	0	34,98	38,775	56,495
VER1	5,38	9,725	21,355	61,76	25,355	47,58
VER2	0	5,94	0	35,585	30	33,71
VII1	8,86	6,835	69,52	39,695	31,325	22,38



VII2	0	7,035	0	63,735	18,42	60,4
Hietsu1	0	4,96	0	37,975	0	26,78
Hietsu2	0	9,47	0	49,92	14,24	23,52
HRANTA1	6,14	13,185	0	45,595	15,9	36,93
HRANTA2	0	0	0	0	0	0
LRANTA1	0	6,92	0	24,325	0	22,955
LRANTA2	0	0	0	34,155	14,43	29,55
VRANTA1	0	6,465	0	53,24	16,31	28,225
VRANTA2	0	6,825	0	45,075	0	20,505

SAMPLE	Pb (< 2)	Pb (< 0,06)	V (< 2)	V (< 0,06)	Zn (< 2)	Zn (< 0,06)
AAR1	15,935	21,06	39,79	60,22	53,805	91,85
AAR2	15,895	19,215	41,645	68,545	48,405	66,17
AGR1	18,25	17,055	45,135	60,74	37,88	45,47
AGR2	15,385	18,83	48,79	56,41	33,3	50,755
ARM1	72,125	87,875	77,575	98,47	153,375	214,64
ARM2	58,05	106,75	79,195	94,8	89,61	137,495
DAL1	20,04	22,765	43,435	65,92	39,6	52,925
DAL2	14,025	16,735	40,215	54,165	21,075	28,73
EIR1	150,65	240,02	66,695	99,985	221,28	373,47
EIR2	218,375	435,26	50,515	81,53	290,15	519,645
EUG1	290,325	357,25	87,145	105,565	638,245	858,49
EUG2	36,02	43,32	85,955	89,25	89,33	106,185
FIL1	48,365	51,435	105,45	110,22	152,135	191,855
FIL2	26,905	55,53	54,255	86,395	62,185	131,845
FRE1	15,18	18,265	41,64	69,3	31,56	42,075
FRE2	20,21	23,5	48,4	56,105	41,65	62,785
HAA1	27,015	31,975	116,61	149,105	96,34	115,82
HAA2	59,515	67,745	104,25	97,325	177,07	195,635
HES1	54,445	66,52	103,03	110,765	121,145	127,81
HES2	108,77	227,49	67,7	105,635	114,78	235,38
HII1	22,11	39,25	95,395	102,92	117,735	185,425
HII2	22,365	21,41	92,15	104,94	102,545	120,075
HIL1	20,4	38,495	53,035	85,58	53,03	130,495
HIL2	32,85	46,775	82,78	100,675	226,355	322,235
ILV1	15,605	18,665	51,045	72,13	31,81	48,07
ILV2	18,42	37,575	68,135	108,895	40,56	108,855
JOS1	45,325	68,7	77,98	102,46	104,205	158,18
JOS2	28,33	33,84	58,595	79,745	59,83	76,68
KAU1	17,13	18,335	44,45	56,57	46,17	46,45
KAU2	17,64	17,18	44,585	59,33	47,475	53,945
KEL1	75,025	119,255	75,805	97,145	179,99	287,785
KEL2	25,085	36,565	68,515	82,82	108,14	171,505
KII1	14,585	19,01	44,27	52,45	19,475	28,14
KII2	15,19	16,115	54,52	55,815	30,85	36,905
KIR1	31,255	97,435	51,205	75,99	89,135	277,685

KIR2	20,36	74,505	30,835	90,715	39,845	230,11
KOR1	23,88	27,825	62,88	71,25	52,24	61,015
KOR2	34,01	47,71	79,025	89,68	79,54	126,255
KUM1	70,775	81,715	68,39	65,945	113,495	133,69
KUM2	110,025	112,1	78,2	74,025	255,07	277,11
KUM3	596,89	791,365	71,895	90,945	584,855	783,52
LAA1	41,75	44,53	115,12	122,03	134,79	162,25
LAA2	37,88	52,23	107,94	120,48	152,545	184,535
LEN1	49,565	72,695	62,775	92,45	109,805	179,495
LEN2	45,94	66,01	64,865	92,575	154,13	219,575
LIN1	14,26	17,785	53,9	57,685	33,105	43,285
LIN2	40,12	94,895	56,955	103,26	86,975	194,655
MAI1	24,47	56,84	55,145	92,275	33,315	114,95
MAI2	48,025	81,08	67,455	96,845	95,42	201,175
MAL1	20,495	32,345	175,55	191,235	55,25	103,345
MAL2	139,75	219,955	80,885	104,96	161,41	296,345
MAN1	110,175	190,13	91,975	134,345	249	434,495
MAN2	50,685	58,91	104,26	97,675	194,885	230,1
MER1	30,31	44,13	64,26	79,72	90,735	113,94
MER2	24,61	38,835	68,61	88,555	58,86	98,775
MUN1	15,625	23,615	31,75	66,34	28,445	55,555
MUN2	100,65	108,815	60,005	72,375	384,245	412,09
MYL1	25,04	40,68	52,375	103,475	64,895	122,155
MYL2	15,045	24,16	46,02	88,27	121,465	254,525
MÄK1	39,565	47,645	86,715	82,725	93,53	118,64
MÄK2	55,225	57,445	81,93	85,965	136,265	194,025
PAL1	295,66	350,27	94,745	97,225	733,615	810,005
PAL2	17,21	36,985	46,745	92,495	41,615	119,545
PAU1	32,43	59,055	64,145	98,37	70,645	138,305
PAU2	19,62	26,795	39,79	83,96	30,26	64,775
PIH1	31,4	82,61	57,095	81,985	56,45	163,04
PIH2	43,485	97,68	66,31	98,6	68,785	153,705
PII1	23,34	26,505	101,24	111,65	108,33	150,99
PII2	39,07	60,82	59,515	80,735	120,045	196,17
PIK1	24,06	50,16	62,38	108,445	65,29	148,785
PIK2	54,37	74,355	76,165	86,565	153,165	199,37
POR1	18,34	36,17	58,965	121,42	56,91	128,41
POR2	57,545	81,785	73,75	102,19	168,53	255,285
PYH1	15,395	15,655	46,56	69,78	23,495	45,39
PYH2	15,54	18,565	38,18	57,78	22,015	29,165
SAV1	33,225	48,08	84,18	106,995	98,36	169,16
SAV2	34,18	45,405	83,75	98,62	99,105	116,415
SIB1	61,57	68,87	88,705	100,7	75,09	101,5
SIB2	57,33	110,865	59,045	86,08	55,44	107,585
SOR1	54	80,035	78,59	92,19	70,905	120,415
SOR2	45,295	101,82	68,555	121,115	53,69	132,905

STRB1	16,06	22,32	32,04	60,395	23,435	35,37
STRB2	17,485	24,9	42,95	62,305	27,235	56,835
SUU1	35,705	40,87	51,14	69,04	110,335	144,26
SUU2	60,43	91,36	54,645	89,145	236,605	374,36
SUUT1	120,995	103,36	92,28	82,03	271,355	242,915
SUUT2	71,86	93,16	96,72	111,475	132,73	179,25
SÄV1	25,98	32,365	79,3	103,295	72,165	126,805
SÄV2	17,84	27,75	72,59	111,52	68,65	96,465
TAI1	61,64	84,945	81,12	92,675	119,25	161,65
TAI2	34,395	46,025	88,62	94,445	79,63	108,655
TER1	38,28	47,555	56,17	73,695	63,285	85,445
TER2	16,44	22,02	68,465	66,915	34,59	38,095
TOV1	114,875	192,25	64,505	79,185	163,765	269,545
TOV2	142,095	218,64	59,14	80,995	197,83	312,52
TÖÖ1	17,295	22,08	58,195	74,03	36,925	62,25
TÖÖ2	10,51	18,475	71,275	86,255	35,545	57,585
UUN1	78,7	256,44	52,09	93,32	50,405	134,21
UUN2	23,14	30,035	44,66	57,595	33,96	47,92
VAL1	16,99	17,595	54,99	70,44	35,125	37,71
VAL2	27,655	51,315	56,16	76,74	78,705	132,995
VALLI1	27,365	75,395	41,575	106,56	38,675	130,84
VALLI2	55,21	90,795	51,8	66,555	38,435	61,725
VAN1	119,05	188,05	70,67	93,59	109,66	177,635
VAN2	62	94,875	49,31	76,93	78,685	118,695
VER1	33,275	43,085	67,2	94,295	71,42	110,28
VER2	46,305	51,85	60,445	66,035	106,74	106,9
VII1	26,87	21,65	58,2	67,515	56,07	32,775
VII2	19,25	32,82	49,455	102,385	35,07	102,5
Hietsu1	18,845	19,34	34,76	70,095	19,37	48,1
Hietsu2	16,91	22,46	32,58	81,95	21,76	52,65
HRANTA1	15,765	21,57	42,89	81,615	27,425	65,02
HRANTA2	15,855	0	26,03	0	15,65	0
LRANTA1	17,05	22,045	36,675	68,34	25,19	51,355
LRANTA2	22,21	24,045	33,705	75,1	27,745	57,525
VRANTA1	18,875	22,89	45,88	91,34	26,28	58,435
VRANTA2	14,54	17,415	43,025	92,615	21,43	52,665